

질소희석과 압력이 석탄가스 비예혼합 화염구조와 소염 스칼라 소산율에 미치는 영향 해석

박상운* · 신영준* · 김용모*†

Effects of Fuel-Side dilution and Pressure on Structure and Extinction Scalar Dissipation Rate of Syngas Nonpremixed Flames

Sangwoon Park*, Youngjun Shin*, Yongmo Kim*†

ABSTRACT

The present study has numerically investigated the effects of fuel-side dilution and pressure on flame structure and extinction scalar dissipation rate of turbulent syngas nonpremixed flames. Numerical results indicate that for highly diluted case, peak temperature is decreased and stoichiometric mixture fraction is increased. By decreasing the pressure and the nitrogen dilution level increased, the extinction scalar dissipation rate is increased.

Key Words : Extinction, Nitrogen dilution, Scalar dissipation rate, Combustion instability

친환경적인 특성과 제조과정의 비용이 저렴한 이유로 현재 전 세계적으로는 수소와 일산화탄소의 혼합물로 이루어진 연료인 석탄가스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 석탄가스는 사용되는 기기와 분야, 공정방법에 따라서 그 조성이 일정치 않고 모두 다른 연료 조성을 가지고 있는데 이 연료 조성은 화염의 정상상태 또는 비정상상태의 화염 거동에 큰 영향을 주게 된다. 최근에는 이 석탄가스를 사용하고 있는 가스터빈에서 화염안정화를 위해서 비예혼합 와류 연소기를 사용하고 있다.[1] 이런 비예혼합 연소기에서는 필연적으로 이론반응비 근처에서 화염이 집중성으로 형성되어 높은 온도를 가지는 영역이 나올 수 밖에 없고, 이는 환경문제에 직접적으로 연관이 있는 NOx의 생성에 크게 영향을 주게 된다. 이 NOx의 생성을 저감시키기 위해서 연료나 산화제에 질소나 이산화탄소, 증기를 넣어주어 희석을 시킨 후에 사용을 하게 되는데 이에 대해서 최근에 Lee, J. W.가 연구를 하였다.[2] 이 때 희석제가 다량으로 사용될 경우에는 연소기 내부에서 화염의 소염 현상이 일어날 수 있는데, 아직 이 부분에 대한 연구가 집중적으로 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 연료의 질소희석과 압력

이 화염의 구조와 소염 스칼라 소산율에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 수치적으로 실험을 하였다.

화염편 모델은 비예혼합 난류 연소장을 본질적으로 1차원적인 구조를 가지는 층류 화염편들의 집합체로 가정한다. 이 때, 난류 유동은 화염편들을 신장시키거나 주름지게 함으로서 화염편 내부에서 분자 단위의 물질 및 열확산을 지배하고 비평형 화학반응에 영향을 미치게 된다. 국소화염 구조로서 층류화염편은 대향류 확산화염해석으로부터 구하거나, Peters 변환에 의하여 아래 식과 같이 유도되는 화염편 방정식을 통해서 해석할 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

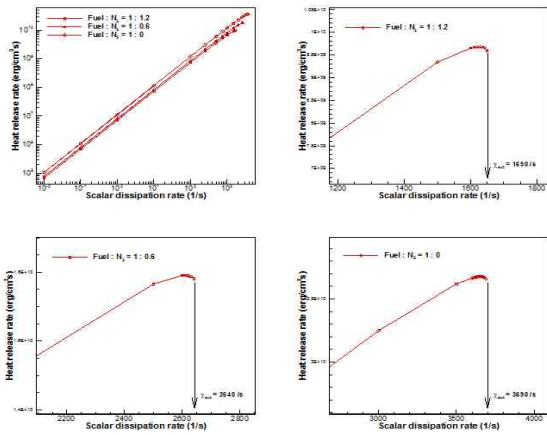


Fig. 1 Heat release rate and extinction scalar dissipation rate for each dilution level

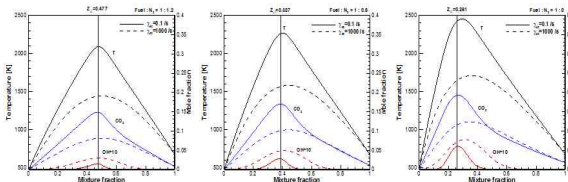


Fig. 2 Local flame structure for each dilution levels for scalar dissipation rates are 0.1 /s and 1000 /s

질소희석의 영향을 알아보기 위해서 질소가 연료 부피의 120%, 60% 그리고 0% 경우에 대한 계산을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 희석정도가 낮아짐에 따라 발열량이 증가하고, 소염 스칼라 소산율이 더 높아지는 것을 알 수 있다. 발열량이 증가함에 따라 최고치 온도가 증가하는 것을 혼합분률상에서 확인할 수 있고, 더 높은 소염 스칼라 소산율을 가지는 것으로부터 더욱 안정적인 연소가 가능하다는 것 또한 유추할 수 있다.

압력의 영향을 알아보기 위해서는 질소의 희석이 연료부피의 1.2배인 연료에 대해서 1기압, 5기압, 15기압인 경우에 대해서 수치실험을 수행하여 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 압력이 올라감에 따라 소염 스칼라 소산율이 증가하고, 발열량 또한 증가하게 된다. 이는 압력이 증가함에 따라 반응물이 올라가게 되며, 따라서 화학적 해리작용이 감소하기 때문이다. 이에 따라 온도 최고치가 올라가고 생성물이 많아지는 현상을 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 특히 소염 스칼라 소산율이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 1기압일 때 1650/s였던 소염 스

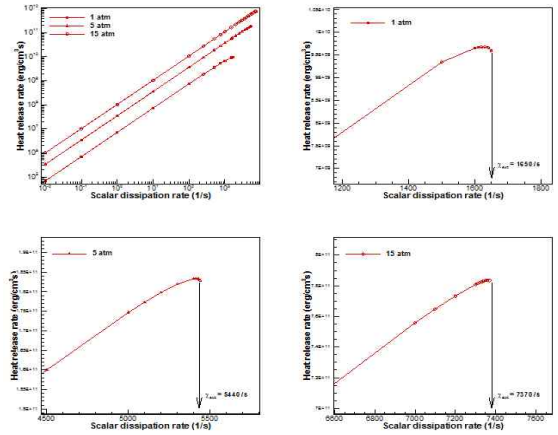


Fig. 3 Heat release rate and extinction scalar dissipation rate for each pressure

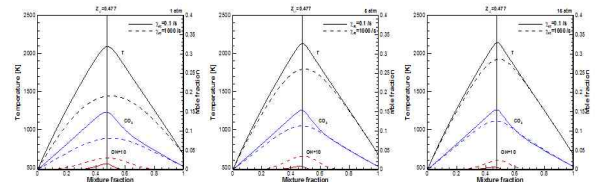


Fig. 4 Local flame structure for each pressure for scalar dissipation rates are 0.1 /s and 1000 /s

갈라 소산율이 15기압에서는 7370/s까지 증가하였다. 수치실험의 모든 경우에 대해서 스칼라 소산율이 올라감에 따라 난류의 영향이 강해져서 온도가 내려가고, 생성물이 감소하는 등의 비평형상태의 특성이 나타나는 것 또한 알 수 있다.

후 기

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

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.Mechanism", Combust. Flame., Vol. 68, 1987, pp. 17-29.