

화염전달함수를 이용한 연소불안정 모델링 기법 소개

김대식*

Introduction to Combustion Instability Modeling Using Flame Transfer Function

Daesik Kim*

ABSTRACT

The current paper introduce the flame transfer function calculation results using CFD in order to quantify the heat release fluctuations in a lean premixed gas turbine combustor. Comparisons of the modeled and measured flame shapes were made using the optimized heat transfer conditions.

Key Words : Lean premixed combustor, Combustion instability, Flame transfer function, CFD(Computational Fluid Dynamics)

최근 가스터빈 회박 예혼합 연소기 및 로켓 등에서의 연소 불안정(combustion instability) 현상은 연소기 설계시 가장 중요하게 고려되고 있는 인자이다. 이는 열발생율의 섭동과 연소기 내부의 음향장에서 존재하는 압력 섭동과의 상호 작용에 의한 피드백 현상으로 두 섭동량이 위상이 동일하게 형성되었을 경우, 서로 증폭하게 되어 기계적인 파손을 야기하게 된다.

연소기 운영 중에 발생하는 연소 불안정을 회피할 수 있는 연소기 형상 설계 또는 제어하기 위한 알고리즘 개발을 위하여 전세계 각 연구 기관에서는 연소 불안정 모델링 기술 개발에 전력을 투구하고 있다. 저자의 이전 연구(1)에서는 연소시스템의 각 부분을 균일한 음향 요소들로 나누고 각 요소간의 경계에서 일치 조건을 통해 전체를 해석하는 1차원 열음향 네트워크 모델을 소개하였다. 또한, 이보다 더욱 고차원화된 방법으로 프랑스의 CERFACS(2) 및 국내의 항공우주연구원(3)에서는 Helmholtz 방정식에 기반을 둔 3차원 유한요소법 해석코드를 개발하여 소개한 바 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t} u' = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} p' \quad (1)$$

$$\frac{1}{\gamma p_0} \frac{\partial}{\partial t} p' + \frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial x} (S u') = \frac{\gamma - 1}{\gamma p_0} \dot{q}' \quad (2)$$

Equations (1)과 (2)는 선형 음향 이론에 따른 음속과 음압 사이의 지배방정식을 나타낸 것이다. 특히 Eq. (2)에서 보이듯이, 열음향 시스템의 해를 구하기 위해서는 연소기에서 발생하는 전체 열발생율(q')을 정량화하는 것이 매우 중요하다. 이를 위하여 가장 많이 적용되고 있는 방법이 $n-\tau$ 모델(5~11)을 이용한 화염 전달 함수를 구하여 화염으로부터의 열발생을 변화를 예측하는 것이다. 입구 속도 진동에 대한 화염 응답 모델 또는 화염 전달 함수(FTF)의 결과들은 다음 Eq. (3)과 같은 $n-\tau$ 의 함수로 표현된다.

$$FTF(\omega) = \frac{q' / q_{mean}}{u' / u_{mean}} = n(\omega) e^{i\phi(\omega)} \quad (3)$$

기존의 연구에서는 화염전달함수를 얻기 위하여 실험적 방법에 의존하거나(4), 매우 간단한 연소시스템을 가정하여 해석학적인 방법으로 화염전달함수를 구한 후, 이를 연소모델링 코드에 확장하여 연소불안정을 해석한 결과를 소개하였었다(12). 본 연구에서는 열음향 모델링 기법에 적용을 위하여 화염전달함수를 CFD를 통하여 계산한 결과를 소개하고자 한다. 이로부터 계산 결과를 실험 결과와 비교하여 계산의 타당성을 제시하고자 한다.

해석을 위하여 선정한 대상 연소기의 개략도는 Fig. 1과 같다. 선정 이유는 실제 산업용 연소기의 Lab-scale 노즐로서, 상대적으로 구조가 간단하며, 다양한 연료에 대하여 화염전달함수의 결과가 소개되고 있기 때문이다.

* 강릉원주대학교 기계자동차공학부

† 연락처자, dkim@gwnu.ac.kr

TEL : (033)760-8728 FAX : (033)-760-8721

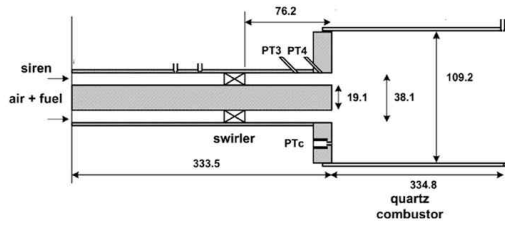


Fig. 1 Schematic of the model combustor, Dimensions in millimeters⁽⁴⁾

Figure 2는 Fig. 1에서 보여준 해석 대상 연소기를 위한 전처리 작업인 격자 생성 결과를 보여준다. 도면화 및 격자 생성을 위하여 ANSYS Meshing 15.0⁽⁶⁾이 적용되었으며, 연소기 입구 노즐 부분과 화염의 재순환이 이루어지는 연소기 입구 영역은 조밀한 격자를 사용하여 해상도를 높였으며, 연소기 하류 쪽은 계산 시간 단축을 위하여 상대적으로 성긴 격자를 사용하였다.

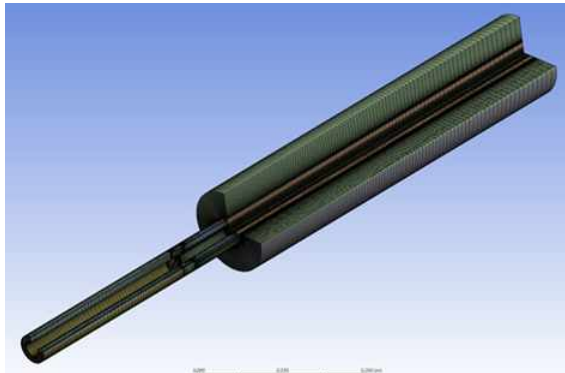


Fig. 2 Geometry of the computational domain

해석 조건의 유동범위에 대해 정확도가 높은 유동장 예측을 위하여 난류 모델은 realizable $k-\epsilon$ model을 사용하였다. 화학 반응을 위하여 최근 가스터빈 연소장과 같은 난류 연소 모델에 많이 적용되고 있는 FR/ED(Finite Rate/Eddy Dissipation)⁽⁶⁾ 모델을 선택하였다.

세부적인 해석 내용 및 주요 결과는 학회 발표를 통하여 소개될 예정이다.

후 기

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013R1A1A2A10009253)

참고 문헌

- [1] Kim, D., 2012, "Linear Stability Analysis in a Gas Turbine Combustor using Thermoacoustic Models," Journal of the Korean Society of Combustion, Vol. 17, No. 2, pp. 17~23.
- [2] Nicoud, F., Benoit, L., Sensiau, C., and Poinsot, T., 2007, "Acoustic Modes in Combustors with Complex Impedances and Multidimensional Active Flames," AIAA Journal, Vol. 45, No. 2, pp. 426~441.
- [3] Kim, S. K., Choi, H. S., and Cha, D. J., 2010, "Development of Helmholtz Solver for Thermo-Acoustic Instability within Combustion Devices," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 38, No. 5, pp. 445~455.
- [4] Kim, K., and Santavicca, D., 2009, "Linear stability analysis of acoustically driven pressure oscillations in a lean premixed gas turbine combustor," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 12, pp. 3436~3447.
- [5] Truffin, K., and Poinsot, T., 2005, "Comparison and Extension of Methods for Acoustic Identification of Burners," Combustion and Flame, Vol. 142, No. 4, pp. 388~400.
- [6] ANSYS Fluent 15.0 Users Guide, ANSYS Inc., 2014.