

1D 및 3D 열음향 연소불안정 모델링

김진아* · 임재영* · 김지환* · 표영민* · 김대식*

1D and 3D Thermoacoustic Combustion Instability Modeling

Jin Ah Kim*, Jaeyoung Lim*, Jihwan Kim*, Yeongmin Pyo*, Deasik Kim**

ABSTRACT

In this study, 1D and 3D thermoacoustic analysis model were developed in order to predict fundamental characteristics of combustion instability in a gas turbine lean premixed combustor. The 1D network model can be used to analyze frequency and growth rate of combustor instability by simply dividing whole system into a couple of acoustic sub-elements, while the 3D Helmholtz solver model can predict directly acoustic modes as well as basic properties of combustion instability. Prediction results of both 1D and 3D models generally showed a good agreement with the measurements, even if there was a slight overestimation for instability range.

Key Words : Combustion instability, Flame transfer function, Thermoacoustic analysis

최근에 NOx의 배출 및 연료 소비율 감소를 동시에 만족시키기 위하여 희박 예혼합 연소시스템에 대한 관심과 연구가 증가하고 있다.

그러나 희박 예혼합 연소기는 연소불안정(combustion instability)이라는 고유의 문제점을 가지고 있다. 희박 가연 한계(lean blow out)에서 연소가 일어나기 때문에, 이로 인한 당량비나 유량변화에 의해 일어나는 열발생율과 시스템 고유의 압력과 변동의 상호작용에 의해 연소불안정이 발생한다. 이러한 현상이 지속될 경우 연소기 내부 부품의 손상을 일으킬 뿐만 아니라 더 나아가 시스템 전체의 파괴로 이어질 수 있다. 따라서 연소불안정 현상에 대한 분명한 이해가 요구되며, 그 특성을 예측할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

희박 예혼합 연소기에서 연소불안정 현상을 예측하기 위해 적용되고 있는 방법 중 열음향 해석(thermoacoustic analysis) 모델이 있다. 그 중 가장 간단한 연소불안정 모델링 방법으로 여겨지는 1D 열음향 해석모델은 실제 연소 시스템을 간소화 하고, 상대적으로 영향이 작은 인자들을 단순화시켜 비교적 쉽게 열음향 특성을 예측하게 하는 해석 기법이다. 반면에 각 요소들 사이의 경계 구분 없이 3D영역을 직접 해석하는 3D 열음향 해석 모델은 다양한 음향 모드

에 대한 해석이 가능하다는 장점을 지닌다. 본 연구에서는 시스템을 노즐, 화염, 연소기 3개의 개별 인자로 나누어 해석하는 1D 네트워크 모델(network model)과 Helmholtz solver를 이용한 FEM(finite elements method) 기반의 3D 열음향 해석 모델을 사용하여 주어진 조건에서의 연소불안정 특성을 예측하였다[1,2].

열음향 해석 모델의 해는 각진동수 ω 로 불안정 주파수를 정의하는 실수부와 초기 불안정 인자를 정의하는 허수부로 이루어져 있다. 이를 위해서 열발생율의 변동에 대한 함수값이 필요하며, 이때 유동 변동(flow fluctuation)에 따른 화염의 동적 거동(flame dynamics)를 정량화하여 표현한 화염 전달 함수(flame transfer function)의 값이 사용된다.

Figure 1은 상용 CFD 해석 코드를 이용한 화염의 모델링 과정 중의 한 예로서, 화염 형상 모델링 결과를 보여준다. CFD를 통하여 얻어진 연소 응답 모델은 1D와 3D 열음향 모델의 열발생 진동의 생성항으로 적용된다. Figures 2와 3는 각각 1D, 3D 열음향 해석 모델을 통하여 연소기 길이 변화에 따른 연소불안정 발생 구간을 예측하여 실험 결과와 비교한 그래프이다. 두 모델링 결과 모두 1L에서 특정 연소기 길이에서 불안정 특성이 예측되었고, 2L 및 3L의 조화 성분의 주파수에서는 연소기 길이 전체에서 안정된 것으로 나타났고, 이는 모두 실험값을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 또한, 동일한 연소 응답 모델을 사용할 경우 1D와 3D 모델의 예측 결과는 매우 유사한 경향을 보이는 것으로 나타

* 강릉원주대학교 기계자동차공학부

† 연락처, dkim@gwnu.ac.kr

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

났다.

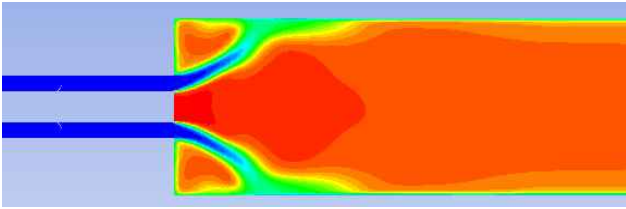


Fig. 1 Example of flame image modeling using CFD

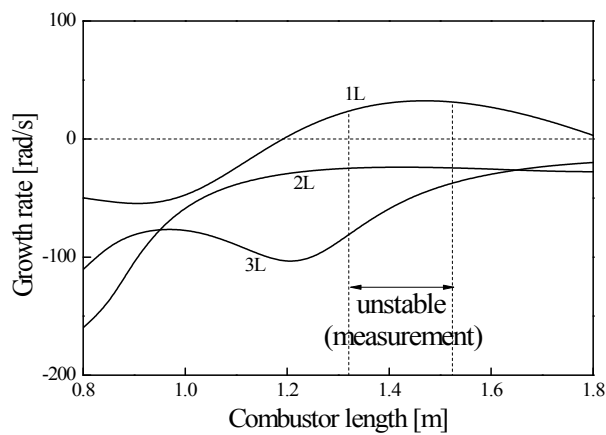


Fig. 2 Example of CI modeling using 1D network code

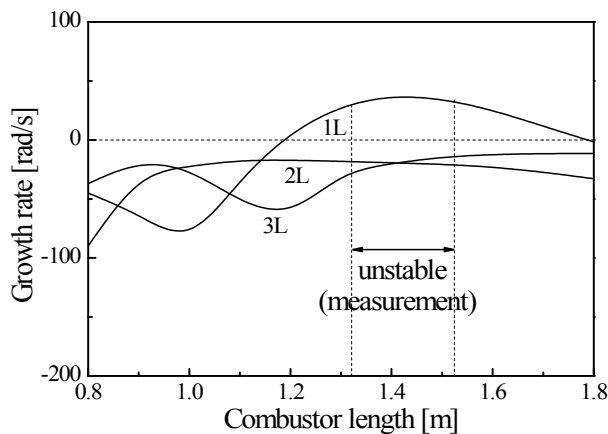


Fig. 3 Example of CI modeling using 3D Helmholtz solver

참고 문헌

- [1] D. Kim, and K. Kim, "Improved Thermoacoustic Model Considering Heat Release Distribution", KSME, Vol. 38, No. 6, 2014, pp. 443-449.
- [2] J. Lim, D. Kim, S. Kim, and D. Cha, "Effects of Acoustic Boundary Conditions on Combustion Instabilities in a Gas Turbine Combustor", Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 19, No. 4, 2015, pp.15-23.
- [3] D. Kim, J. Lee, B. Quay, D. Santavicca, K. Kim, and S. Srinivassan, "Effects of Flame Structure on the Flame Transfer Function in a Premixed Gas Turbine Combustor," Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 132, No. 2, 2010, 021502

후 기

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