

가스터빈 열 회수 증기 발생기의 배출 가스 예측 모사 해석

한우주* · 장지훈* · 이영재* · 한가람* · 허강열**

Computational Simulation to Predict Emissions of a Heat Recovery Steam Generator

Woojoo Han*, Jihoon Jang*, Youngjae Lee*, Karam Han*, Kang Y. Huh**

ABSTRACT

We performed computational simulation for a heat recovery steam generator to predict emissions (especially carbon monoxide) and compare the results with experimental data. We used the steady laminar flamelet model(SLFM) which can consider detailed chemical mechanisms. To reduce the number of grid, we simplified the geometry of the whole heat recovery steam generator. In conclusion, the trend of simulation results is good agreement with experimental data.

Key Words : Carbon Monoxide, Steady Laminar Flamelet Model , Steam Generator, Complete Combustion, Incomplete Combustion

열 회수 증기 발생기는 가스터빈에서 타고 나온 고온의 가스를 재활용하기 위한 장치이다. 열 회수 증기 발생기는 수 mm 정도의 연료 노즐에서부터 수십 m의 연소실까지 그 규모가 방대하며 이를 모두 고려하여 해석을 수행하여야 한다. 일산화탄소(CO)를 보다 정확하게 예측하기 위해서는 상세 화학반응을 고려한 mechanism을 사용해야 한다. 본 연구에서는 중요 구조물을 유지하며 격자규모를 줄이는 과정과 상세 화학반응 mechanism을 고려하여 연소 계산을 수행할 수 있는 연소모형을 사용하는 것이 관건이다. 상세 mechanism을 고려할 수 있는 연소 모델로는 conditional moment closure(CMC), steady laminar flamelet model (SLFM)이 대표적이다. CMC는 SLFM에 비해 정확한 결과를 얻을 수 있지만 모든 위치에서 chemistry와 난류를 계산해야 하므로 SLFM에 비해 계산 부하가 큰 단점이 있어, 본 연구에서 주어진 격자규모에서는 적용이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 상세 mechanism을 고려하면서 격자규모가 방대한 계산에 적용시킬 수 있는 SLFM 모델을 적용하기로 하였다.

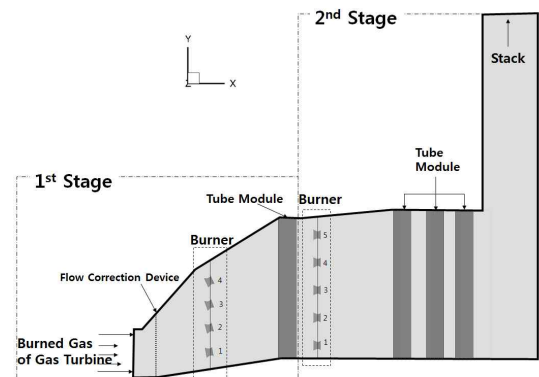


Fig.1 열 회수 증기 발생기의 모식도

열 회수 증기 발생기의 입구에서는 가스터빈으로부터 불균일한 기연 가스가 투입되는데, 온도가 높고, 산소 농도가 낮은 특징이 있으며, 가스터빈에 의해서 회전하는 불균일한 유동이 투입된다. 열 회수 증기 발생기에는 버너가 두 군데로 나뉘어서 배치되어 있으며, 1st stage 버너, 2nd stage 버너로 구분한다. 1st-stage 버너는 위치 별로 기울어져 있으며 각 버너마다 각도가 모두 다르다. 2nd stage 버너는 기울어져있지는 않지만 추가적인 산소 공급을 위하여 버너 안쪽으로 추가의 fresh air가 공급된다.

* 포항공과대학교 기계공학과

† 연락저자, huh@postech.ac.kr

TEL : (054)279-2841 FAX : (054)-279-3199

case	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Gas Turbine Load (%)	100			60		
Fuel Load(%)	100	50	10	100	50	10

Table.1 가스터빈과 부하별 시뮬레이션 case

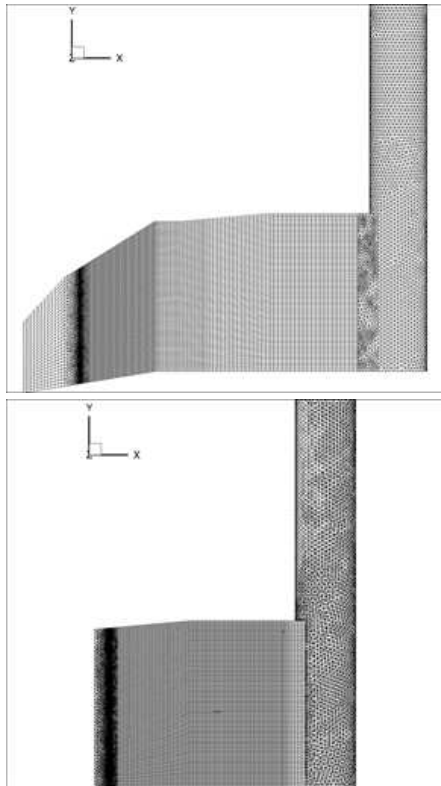


Fig.2 열 회수 증기 발생기의 1st stage 계산 격자(위) 2nd stage 계산 격자 (아래)

Table1 은 시뮬레이션을 수행할 운전 조건을 나타낸다. 열 회수 증기 발생기의 입구 조건으로 들어오는 가스터빈의 부하는 100%와 60% 두 가지 조건이 있으며 각각의 입구 조건에 대해서 열 회수 증기 발생기 내부의 연료 부하가 최대 100%를 기준으로 10% 50% 조건이 있다. 따라서 총 6 가지 Case 에 대해서 해석을 수행 하였다. 열 회수 증기 발생기의 전체 시스템을 한 번에 해석하기에는 격자가 과도하게 많아 1st stage 와 2nd stage 영역으로 나누었으며 Fig2는 각각의 격자를 나타낸 그림이다. 난류 모델은 realizable k-ε model 을 사용하였다.

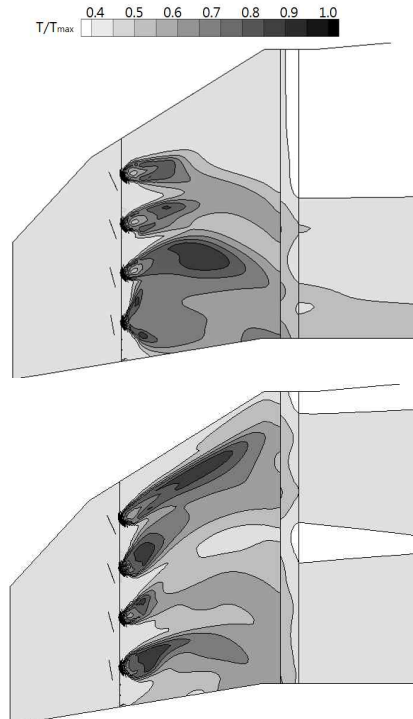


Fig.3 Case C1,C4의 1st stage의 온도 분포

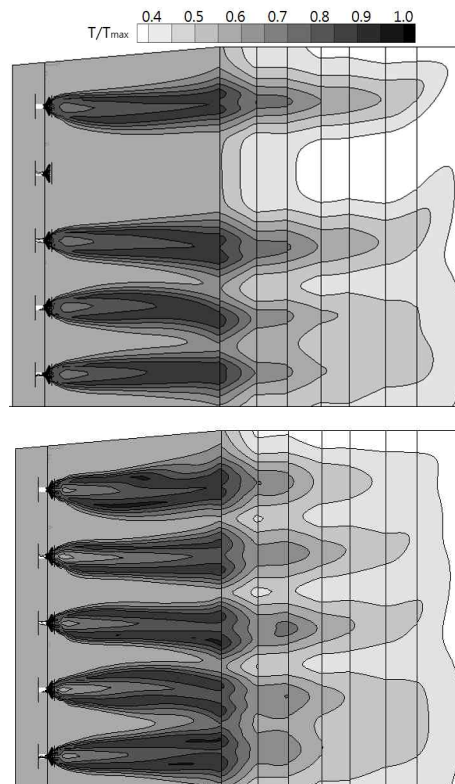


Fig.4 Case C1,C4의 2nd stage의 온도 분포

Fig3과 Fig4 는 C1, C4에 대한 버너 주변에서의 온도분포를 나타낸 그림이다. 주목할 점은 1st stage에서 버너의 위치 별 화염의 모양이 상당히 다르게 나타나는 점이다. 이는 가스터빈으로부터 기연가스가 균일하게 투입되지 않고 가스 터빈에 의한 swirl 효과로 회전하면서 투입되기 때문이다. 이로 인하여 전체적으로 불균일한 유동이 버너 별 화염에 각각 다르게 영향을 미치게 된다. C4의 경우 C1에 비해서 기연가스의 유량이 적어 유동의 불균일한 효과가 화염 모양에 미치는 영향이 C1에 비해서는 크지 않은 것을 볼 수 있다. 2nd stage의 경우는 버너의 위치별 화염 모양이 거의 균일하게 나타남을 볼 수 있다. 가스터빈 기연가스의 불균일한 유동이 1st stage를 지나며 버너 구조물과 연소에 의해서 균일해지기 때문이다. 따라서 가스터빈으로부터 투입되는 불균일한 유동효과에 의해 1st stage의 화염은 크게 영향을 받지만 2nd stage의 경우는 그 효과가 미미한 것을 볼 수 있다.

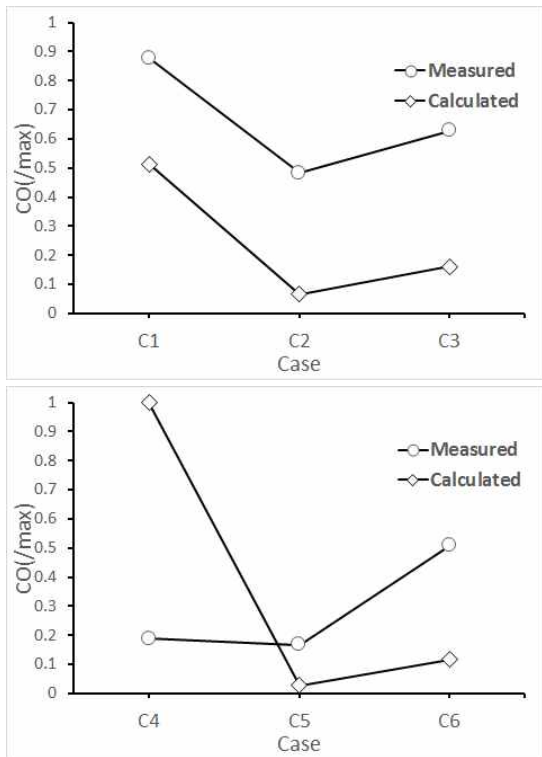


Fig.5 Case 별 측정값과 계산된 CO level 비교

Fig5 결과에서 Case별 CO배출물의 계산결과에서 측정치의 경향성이 유지되는 모습을 보이고 있다. 특이한 점은 연료 부하가 10%인 C3이나 C6에 비해 연료 부하가 50%인 C2나 C5가 CO가 보다 적게 배출되는 점이다. 이와 같은 현상을 전체 Case에 대하여 파악하기 위하여

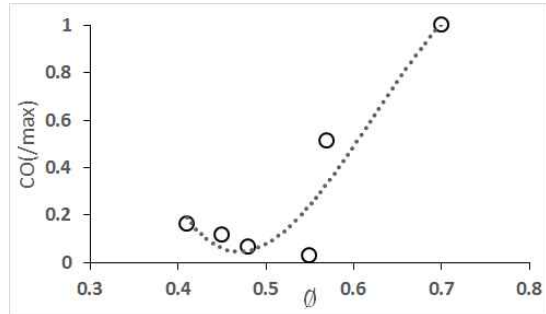


Fig.6 Global equivalence ratio에 따른 CO level 변화

Fig6과 같이 global equivalence ratio에 따른 CO 분포를 나타내었다. global equivalence ratio 값이 0.55인 지점에서 CO값이 가장 낮게 나오는 형태를 보이고 있으며 이 지점으로부터 당량비가 증가하거나 혹은 감소할수록 CO 값은 증가하는 추세를 보이고 있다. 이는 연료부하가 50%인 경우가 버너 부근에서 완전연소 조건에 가깝기 때문이며, 이 조건보다 연료부하가 낮으면 lean limit에 가까워지면서 불완전 연소가 발생하게 된다. 연료부하가 너무 높아지면 연료와 주변 공기가 mixing이 충분히 일어나지 못해 역시 불완전 연소가 발생하게 된다.

C4의 경우는 연료 부하가 가장 높지만 가스터빈에서 들어오는 공기량이 적어 당량비가 가장 높다. 따라서 추가되는 fresh air의 효과가 중요하지만, 2nd stage에서 3-stream(연료, 기연가스, fresh air) 문제를 기연가스와 fresh air를 섞어 2-stream(연료, 혼합 가스)문제로 단순화 하는 과정에서 fresh air의 효과가 제한되게 된다. C4에서는 이와 같은 단순화에 의한 fresh air 효과의 제한이 크게 작용하여 다른 경우들에 비하여 경향성의 차이가 나게 되는 것으로 판단된다..

참고 문헌

[1] C. E. Baukal, Industrial Burners Handbook, CRC Press, 2004, pp. 662-626
 [2] Yu Jeong Kim, Chang BoOh, and Osamu Fujita, Prediction Performance of Chemical Mechanisms for Numerical Simulation of Methane Jet MILD Combustion, 2013, Advances in Mechanical Engineering
 [3] M. R. ROOMINA* and R. W. BILGER, Conditional Moment Closure (CMC) Predictions of a Turbulent Methane-Air Jet Flame, Combustion and Flame 125, 2001, pp. 1176-1195

[4] GRI-Mech 3.0, The Gas Research Institute,
<http://combustion.berkeley.edu/gri-mech/version30/text30.html>

[5] Derek Dunn-Rankin, Lean Combustion,
Elsevier, ISBN978-0-12-370619-5, 2008,
pp103-104

[6] 장지훈, 허강열, OpenFOAM을 이용한
Supplementary 버너 난류 연소해석과 배기가스
예측 및 검증, 제 48회 KOSCO SYMPOSIUM
초록집, 2014, pp293-296