

## 연소 변수가 수증기-메탄 개질기의 특성에 미치는 영향

이재성\* · 김호영\*\*†

### The Effects of Combustion Parameters on the Characteristics of a Steam-Methane Reformer

Jae-Seong Lee\*, Ho-Young Kim\*\*†

#### ABSTRACT

The effects of combustion parameters on the characteristics of a steam-methane reformer. The reformer system was numerically simulated using a simplified two-dimensional axisymmetric model domain with an appropriate user-defined function. The fuel ratio, defined as the ratio of methane flow rate in the combustor to that in the reactor, was varied from 20 to 80%. The equivalence ratio was changed from 0.5 to 1.0. The results indicated that as the fuel ratio increased, the production rates of hydrogen and carbon monoxide increased, although their rates of increase diminished. In fact, at the highest heat supply rates, hydrogen production was actually slightly decreased. Simulations showed that equivalence ratio of 0.7 yielded the highest steam-methane mixture temperature despite a 43% higher air flow rate than the stoichiometric flow rate. This means that the production of hydrogen and carbon monoxide can be increased by adjusting the equivalence ratio, especially when the heat supply is insufficient.

**Key Words** : Combustion parameter; Steam reformer; Reformer performance

세계적으로 인구와 그에 따른 에너지 수요가 계속적으로 증가되면서 화석연료 에너지원이 지속 가능하고 깨끗한 에너지원으로의 대체가 필요하다는 사실은 점점 명백해지고 있다. 연료전지는 특히 발전 분야에서 각광받는 신재생에너지 중의 하나이다. 발전분야 및 대형 건물에 적용가능한 연료전지로는 Morten Carbonate Fuel Cell (MCFC)와 Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)가 주로 이용된다. 이 MCFC와 SOFC는 연료로서 수소와 일산화탄소로 이루어진 합성가스를 사용하게 되는데, 이러한 합성가스는 개질반응에 의해 생산된다. 따라서 연료전지 시스템을 최적화 하기 위해서는 개질반응에 대한 이해가 중요하다. 수증기 개질법은 대표적인 개질법으로 강력한 흡열반응을 동반하기 때문에 개질반응을 위해서 외부의 열원을 필요로 한다. 이 때문에 대부분의 수증기 개질기는 개질반응을 위한 열을 공급하기 위하여 연소반응을 이용한다. 따라서 개질기를 해석하기 위해서는 개질반응 그 자체 뿐만 아니라 연소반응에 대한 해석도 동시에 수행되어야 한다. 수증기 개질반응을 해석하기 위한 여러 연

구들이 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔지만 대부분의 경우 개질기를 개질반응의 측면에서 바라보았다. 이에 따라 개질반응에 필요한 외부의 열원을 고려하기 위해서 연소반응식을 푸는 대신에 온도 조건이나 열전달 계수로 주어지는 경우가 많았으며 또한 steam-to-carbon ratio (SCR), 개질반응기의 유량, 개질기의 형상, 개질반응기 입구의 압력 및 온도 조건 등의 개질반응기 위주의 운전조건이 개질기를 해석하기 위해 주로 사용되었다. [1~4] 그러나 앞서 언급하였듯이 개질기는 개질반응과 연소반응이 동시에 일어나기 때문에 개질기를 연구하는데 있어 연소반응 역시 고려되어야 할 부분 중에 하나이다. 따라서 본 연구에서는 연소 변수가 수증기 개질기에 미치는 영향을 파악하는 것에 주안점을 두었다. 이를 위하여 실용 수증기 개질기에 개질기 튜브에 공급되는 연료대비 연소기에 공급되는 연료로 정의되는 연료비와 연소기의 공연비를 변화시켜서 이에 따른 수증기 개질기의 특성을 수치해석을 통해 살펴보았다. 수치해석은 상용 프로그램인 FLUENT를 사용하였으며 연소반응 및 개질반응을 동시에 해석하기 위하여 User-Defined Function (UDF)을 작성하여 이용하였다. 해석에 사용된 방정식 및 모델링에 대한 자세한 내용은 이재성과 김호영 [5]에 수록되어있다.

본 연구에서 사용한 해석대상의 단면을 Fig. 1

\* 고려대학교 대학원 기계공학과

\*\* 고려대학교 기계공학부

† E-mail : kimhy@korea.ac.kr

Tel : (02)3290-3356 Fax : (02)926-9290

에 나타내었다. 해석대상은 1kW급 SOFC용 실용 개질기로서 전체적으로 원통형 구조를 하고 있다. 연소 반응이 일어나는 furnace 내부에 촉매가 채워진 개질 반응기가 자리 잡고 있는 형태이다. 유동을 고르게 해주기 위하여 연료와 공기가 유입되는 부분에 mesh가 설치되어 있으며 개질기의 열전달을 좋게 하기 위한 baffle이 중앙에 위치해 있다. 또한 폐열회수를 위한 vapor coil과 heating coil이 개질기 내부에 설치되어 있다. 실제 형상에서는 coil의 형태가 나선형 구조로 되어있지만 본 연구에서는 2-D 축대칭으로 단순화하여 계산하기 위해서 coil들이 고리형태로 존재한다고 가정하였다.

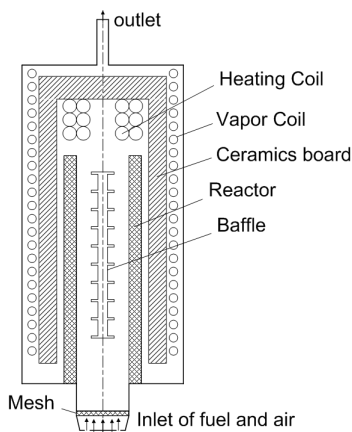


Fig. 1 Schematics of the reformer system.

본 연구에서 사용한 운전조건 및 변수들에 대한 설명을 Table 1에 요약하여 나타내었다. 연소기에 공급되는 연료량은 개질기에 공급되는 연료량의 20%에서 80%까지 변화시켰고 공연비는 당량비로서 0.5에서 1까지 변화시켜서 계산을 수행하였다.

Table 1 Operating parameters

Devolatilization	
Fuel feed to reactor [L/min]	4
Fuel feed to combustor [L/min]	0.8 ~ 3.2
Steam to Carbon Ratio	3
Equivalence Ratio	0.5 ~ 1

Fig. 2에 연료비 변화에 따른 개질기 출구온도 및 가스조성을 나타내었다. 개질기에 공급되는 연료의 양을 4L/min으로 고정하고 연소기에 공급되는 연료의 양을 0.8L/min에서 3.2L/min까지 변화시켰다. 이 때 당량비는 0.6이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 연소기에 공급되는 연료의 양이 증

가할 수록 출구온도 및 MCFC와 SOFC의 연료가 되는 수소와 일산화탄소의 합이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 연료비의 증가가 선형적인데 반해 온도 증가는 선형적이지 못하며 수소와 일산화탄소의 합은 연료비가 50%가 되는 이후부터 거의 증가하지 않는 모습을 볼 수 있다. 다시 말해 연료비가 50%인 경우와 연료비가 80%인 경우를 비교해 보았을 때 연료비 80%의 경우는 연료비 50%일 때 보다 연료가 1.6배 많이 공급되었지만 생산된 수소 및 일산화탄소의 증가는 미미하다고 할 수 있다. 이를 통해 과도한 연료공급은 개질가스의 생산에는 크게 영향을 미치지 않으면서 연료비가 많이 소모되는 결과를 가져온다는 것을 알 수 있다. 따라서 연소기에 공급하는 연료의 양을 적절하게 조절할 필요가 있다.

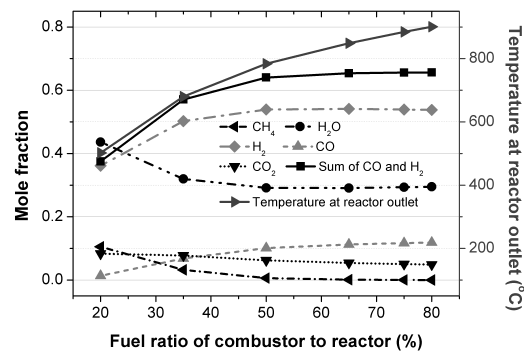


Fig. 2 Reformate gas compositions and temperatures at the outlet of the reactor for varied fuel ratios.

Fig. 3에는 당량비 변화에 따른 개질기 출구온도 및 가스조성을 나타내었다. 개질기에 공급되는 연료의 양은 4L/min이고 연소기에 공급되는 연료의 양은 3L/min이다. 당량비는 0.5에서 1까지 변화시켰다.

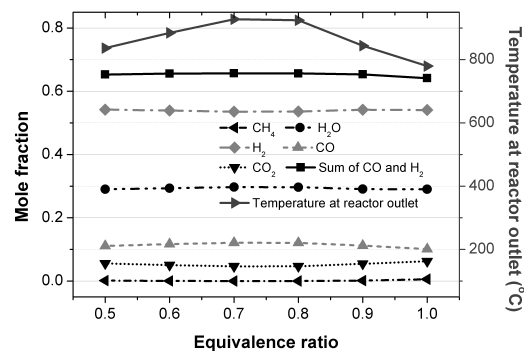


Fig. 3 gas compositions and temperatures at the outlet of the reactor.

Fig. 3 에서는 Fig. 2와는 달리 당량비에 따른 선형적 변화가 아닌 당량비 0.7에서 출구온도 및 수소와 일산화탄소의 함이 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 당량비가 이보다 높을 경우 산소가 충분하지 않아 불완전연소가 발생하여 온도가 감소하는 것으로 보이며 당량보다 이보다 낮을 경우는 과도하게 공급된 공기가 연소열을 흡수하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 3에서는 당량비에 대한 개질기 출구조성의 영향이 미미한 것으로 보인다. 하지만 여기서 연소기에 공급되는 연료의 양은 3L/min으로 Fig. 2에서 연료비 75%에 해당한다. 이 경우 이미 충분히 연료가 공급되고 있기 때문에 개질기 출구조성에 대한 영향이 적게 나타나는 것이다. 그러나 확실한 것은 당량비에 따라 출구온도는 변화한다는 사실이다. Fig. 2에서도 볼 수 있듯이 출구 온도가 높을수록 개질기 출구에서의 수소 및 일산화탄소의 양이 증가하기 때문에 연료비가 50% 정도로 연소기에 공급되는 연료가 비교적 부족한 구간에서 당량비를 0.7~0.8 사이로 적절히 조정한다면 연료를 적게 사용하면서도 충분한 개질반응을 얻어낼 수 있을 것이라 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국에너지자원기술기획평가원 신재생에너지기술개발 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- [1] S. Lee, J. Bae, S. Lim, J. Park, "Improved configuration of supported nickel catalysts in a steam reformer for effective hydrogen production from methane" *J. Power Sources*, Vol. 180, 2008, pp. 506-515.
- [2] J. Pina, N.S. Schbib, V. Bucala, D.O. Borio, "Influence of the heat-flux profiles on the operation of primary steam reformers", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 40, 2001, pp. 5215-5221.
- [3] C.V.S. Murty, M.V.K. Murthy, "Modeling and simulation of a top-fired reformer", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 27, 1988, pp. 1832-1840.
- [4] J. Park, J. Bae, S. Lee, M. Kim, "Numerical analysis of a steam reformer coupled with a combustion burner", *J. Fuel Cell Sci. Technol.*, Vol. 7, 2010.
- [5] 이재성, 김호영, "형상변화가 개질기 시스템의 열유동 및 개질효율에 미치는 영향", 제 41회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2010, pp.47-54.