열적부분산화법을 적용한 Perforated SiC 관의 개질특성연구

이필형* · 차천륜* · 홍성원* · 임현진* · 황상순*†

Study on Characteristics of Reforming by TPOX in Perforated SiC Tube

Pil Hyong Lee*, Chun Loon Cha*, Seong Weon Hong*, Hyun Jin Im*, Sang Soon Hwang*†

ABSTRACT

In this paper, combustion process in the perforated silicon carbide(SiC) tube using a two dimensional approaches with GRI Mechanism 1.2 was investigated. The computational mesh structure which is divided into 60×15 and boundary conditions are set to constant mass flow rate at the inlet and constant pressure condition at the outlet respectively. Its result shows that the temperature on this peak was roughly 100K higher than the adiabatic flame temperature of 2223K for a free laminar flame at these conditions.

Key Words : Perforated Silicon Carbide, GRI, Adiabatic Flame

차세대 에너지원인 연료전지는 기계적인 구동장치 없이 화학에너지를 전기화학반응을 통하여 전기에너지로 직접 변환시켜 열기관이 가지는 열효율한계(Carnot Cycle : 30-40%)를 극복할 수 있다. 또한 CO, NOx, HC 같은 배기가스를 배출하지 않는 친환경 에너지원으로 알려져 있다.[1-3] 이러한 연료전지의 경우 순수수소를 사용하는 것이 가장 효과적이지만 수소의 경우 질량당 체적이 큰 문제로 보관 및 이송이 어렵고 생산비용이 높은 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 수소가 포함되어 있는 탄화수소계 연료를 개질하여 사용하는 연구가 진행중이다. 탄화수소계 연료 중 수소제조원으로 사용되는 천연가스의 경우 약 90%이상의 메탄이 포함되어 있고 전 세계적으로 매장량이 풍부하여 적용가능성이 매우 높다고 알려져 있다.

이러한 천연가스를 직접 개질해 가정용 마이크로 열병합 발전 연료전지에 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 탄화수소 연료의 수소로의 개질방식으론 다음의 3가지 대표적인 방법을 들 수 있다.[4] 이러한 연료개질에 있어 생성되는 가스는 주로 수소, 일산화탄소, 이산화탄소로 구성되어 있어 고분자 연료전지에 공급하기 위해서는 고분자 연료전지의 성능저하에 결정적 역할을 하는 일산화탄서 제거를 위하여 Water Gas Shift 반응등과 같은 부가적인 장치가 수반되어야 한다. 그러나 고체산화물 연료전지에 있어서는 일산화탄소를 직접 연료로서 사용될 수 있기 때문에 SOFC 기반 연료전지의 경우 위의 반응에 의한 합성가스를 그대로 이용할 수 있는 장점이 있다.

Table 1 Comparison of fuel reforming reactions

Type	Chemical Reaction
Stream Reforming	$C_xH_y + xH_2O_{(g)} \leftrightarrow xCO + (\frac{1}{2}y + x)H_2$ $\Rightarrow CO, CO_2, H_2, H_2O$
Partial Oxidation	$C_xH_y + \frac{1}{2}xO_2 \leftrightarrow {}_xCO + \frac{1}{2}yH_2$
Autothermal Reforming	$C_xH_y + zH_2O_{(g)} + (x - \frac{1}{2}z)O_2$ $\leftrightarrow xCO + (z + \frac{1}{2}y)H_2$ $\Rightarrow CO, CO_2, H_2, H_2O$

촉매를 통한 개질은 백금과 같은 귀금속의 사용과 촉매열화, Poisoning 문제를 가지고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 들어 촉매를 사용하지 않고 초단열화염을 적용한 탄화수소의 개질연구 진행되고 있다.

본 연구에서는 Weinbug[5]가 제안한 초단열화염을 Perforated SiC 관에 적용하여 메탄의 가연한계를 확장하고 Ultra Rich조건에서 비촉매 천연가스 개질기에 대한 수치해석을 통하여 고 당량비 조건에서의 수소 및 일산화탄소의 생성율과 연소화염의 거동에 대한 연구를 진행하였다.

* 인천대학교 기계공학과
† 연락저자, hwang@incheon.ac.kr
TEL : (032)-835-8417 FAX : (032)-835-0772

열적부분산화법을 적용한 Perforated SiC 개질기의 수치해석을 위하여 질량, 운동량, 에너지 및 화학종보존 방정식 지배방정식을 사용하였다.

- 질량보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\vec{v}) = 0 \quad (1)$$

- 운동량보존방정식

$$\nabla \cdot (\rho\vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho\vec{g} \quad (2)$$

- 에너지보존방정식

$$\nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff}\nabla T - \sum h_i \vec{J_j}) + S_h \quad (3)$$

- 화학종보존방정식

$$\nabla \cdot (\rho\vec{v}Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J_i} + R_i \quad (4)$$

또한 Perforated SiC 관 내부에서 발생되는 개질과정의 화학종 변화를 분석하기 위하여 GRI-Mech 1.2 화학방정식을 사용하였다. 사용된 GRI-Mech 1.2 화학방정식은 22개의 화학종과 104개의 화학반응으로 구성되어 있어 개질과정에서 발생되는 화학종의 변화를 관찰 할 수 있도록 하였다.

수치해석에 사용된 Perforated SiC 관은 길이 50 mm, 내경 4mm, 외경 6mm이며 그림.1과 같은 형상으로 격자를 형성하여 수치해석을 진행하였다. 기본격자는 60×15(가로×세로)로 총 900개로 구성하였고 수치해석의 정밀성을 높이기 위하여 온도기울기 변화에 따른 자동 Adaption Mesh를 사용하여 수치해석을 진행하였다.

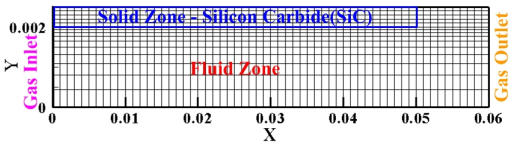

Fig. 1 Computational grid for SiC tube

격자구조 개수변화 및 Adaption Mesh의 적용이 수렴성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Mesh의 개수의 변화와 Adaption Mesh 적용에 따른 수치해석 결과를 그림.2에 비교하였다. 본 결과를 살펴보면 Mesh의 개수를 고정하여 수치해석을 진행한 결과와 Adaption Mesh를 적용하여 수치해석을 진행한 결과에서 비교적 동일한 연소화염의 패턴이 도출됨을 확인할 수 있었다. 또한 Mesh간 거리가 0.5mm 이하로 설정해야 연소과정에서 발생되는 급격한 온도기울기 변화에 안정적으로 대처할 수 있음을 확인하였다. 해석결과의 안정성과 해석시간을 고려해 볼 때 Mesh의 개수를 고정하여 수치해석을 진행하는 방식보다는 온도기울기에 따라 자동으로 Mesh의 개수가 변화되는 Adaption Mesh의 적용이 보다 효율적이라 판단하였다.

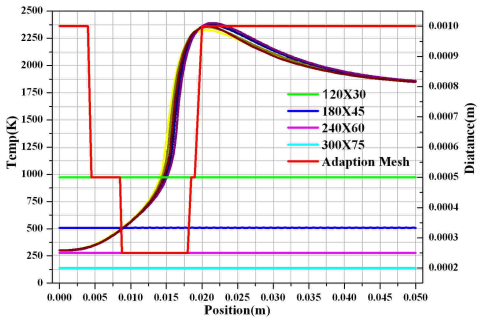

Fig. 2 Comparison of convergence at different mesh number

당량비 1.0 조건에서 수치해석을 통하여 연소화염의 온도가 동일조건의 단열화염온도인 2223K에 비하여 높게 형성됨을 확인하였고 이를 바탕으로 고당량비 조건인 당량비 2.0, 3.0, 4.0 조건에서의 수치해석을 진행하였다. Ultra Rich 조건인 당량비 4.0에서 열적부분산화법을 통하여 생성되는 수소 및 일산화탄소의 Yield를 그림.3에 비교하였다.

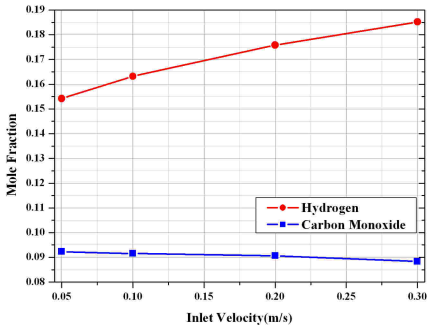

Fig. 3 Comparison of hydrogen and carbon monoxide yield at equivalence ratio 4.0

그림.3을 살펴보면 입구유속이 증가하면 수소의 Yield는 증가하지만 일산화탄소의 Yield는 감소됨을 확인할 수 있었다. 수소 및 일산화탄소의 최고 Yield는 수소는 입구유속 30cm/s에서 18.5%이고 일산화탄소는 입구유속 5cm/s에서 9.23%가 발생됨을 확인하였다.

본 수치해석을 통하여 Adaption Mesh를 적용한 수치해석 방법과 Mesh의 개수를 증가시키는 수치해석 방법에 대한 상호비교를 통하여 동일한 수치해석 결과를 도출하였다. 또한 당량비 1.0 조건에서 Perforated SiC 관 내부의 연소화염 온도가 동일조건의 단열화염온도보다 높게 발생됨을 확인할 수 있어 초단열화염이 형성됨을 확인하였

다. 이를 바탕으로 고당량비 조건인 당량비 2.0, 3.0, 4.0에 대한 수치해석을 진행하였고 Ultra Rich 조건인 당량비 4.0조건에서는 수소의 Yield가 입구유속 30cm/s에서 18.5%, 일산화탄소의 Yield는 입구유속 5cm/s에서 9.2% 발생되어 열적부분산화법을 적용한 Perforated SiC 관에서의 개질에 대한 가능성을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0005092).

참고 문헌

[1] J. Larminie and A. Dicks, "Fuel Cell Explained", Wiley, 2003
[2] R. O'Hayre, S. W. Cha, W. Colella and F. B. Prinz, "Fuel Cell Fundamentals", Wiley, 2006
[3] N. Sammes, Fuel Cell Tebhnology, Springer, 2006
[4] C. K. Law, "Combustion Physics", Cambridge Univ Press, 2007
[5] F. J. Weinberg, "An examination of the relative merits of burning at high and low temperatures leads to new proposals for designing future combustion systems for particular purposes so as to minimize pollution and optimize intensity and efficiency", Nature 233(1971) 239-241.