

50kW급 인산형 연료전지 시스템 설계 및 부하 변동에 따른 전산 모사 Design and Simulation According to The Load Change For PAFC System

이광순, 김요셉, 이지숙
서강대학교 화학공학과

1. 서론

인산형 연료전지 시스템은 스택에 수소를 공급하기 위해 원료로부터 수소를 만드는 공정과 전기를 생산하는 스택, 그리고 스택에서 발생하는 열을 제거하는 냉각시스템으로 나눌 수 있다. 이번 연구에서는 메탄을 이용한 개질 공정에 대해서 고려하였으며 100단의 50kW급 인산형 연료전지 시스템을 설계하고 부하 변동에 따른 전산 모사를 수행하였다.

개질 반응기는 스택에서 나오는 미반응 수소를 개질기 버너에서 태워서 개질 반응에 필요한 열을 얻는 구조로 만들어져 있다. 만일 스택에서 부하 변화가 심하게 일어나면 스택에서는 미반응 수소가 적게 나오게 된다. 이로 인해 개질 반응에 필요한 열이 감소하여 개질 반응이 덜 일어나고 그리하여 스택에 필요한 수소가 줄어드는 현상이 일어나서 시스템 운전이 어려워지는 상황이 발생한다.

이러한 이유로 부하 요구에 따른 스택에서의 수소 요구량과 그때 해당하는 개질기 버너의 수소 요구량을 정확히 파악하고 그 총 양의 수소를 얻기 위해 필요한 메탄의 양을 전산 모사를 통하여 구해 보았다.

2. 시스템 구성

연료전지 시스템 구성은 그림 1에서와 같이 고압의 스팀과 저압의 메탄이 ejector를 통해서 혼합되고 개질기를 통과하면서 메탄이 수소와 CO등으로변화된다. 그리고 수성 전이 반응기에서 CO를 제거하고 H₂-rich 가스가 스택에 들어가서 전력을 생산한다. 그리고 미반응 수소가 다시 개질기 버너로 들어가서 개질 반응에 필요한 열을 공급한다. 스택에서 생성되는 열은 냉각수를 통해 제거되고 물탱크에서 스팀이 다시 원료로 쓰이며 물탱크를 빠져나가는 스팀만큼 물이 외부에서 공급되어야 한다.

가) 개질 시스템

스팀과 메탄은 3.2:1의 몰비로 공급하며 ejector에서 만나 혼합되고 여러 열교환 과정을 거쳐 개질기 입구에서 450°C로 들어가서 열을 공급 받으며 반응이 일어나서 760°C정도의 고온의 가스가 나오도록 설계하였다. 개질 반응기에서의 메탄의 전환율은 95%이상이다.

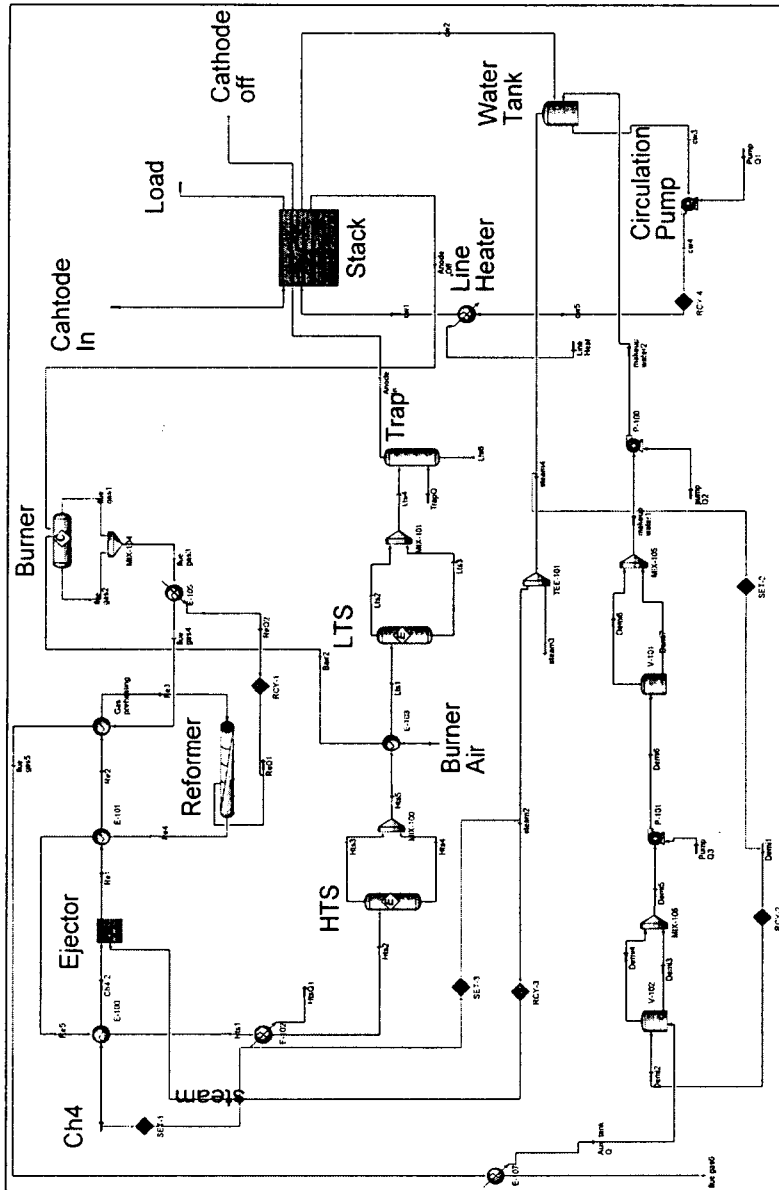


그림 1. Process Flow Diagram

NiO촉매하에서는 다음과 같은 반응이 일어난다.

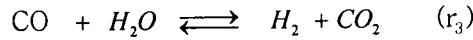
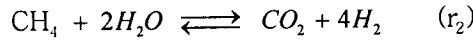
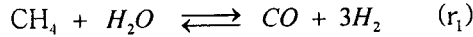


그림 2에서 반응기 길이에 따른 반응기내의 성분별 몰유량을 나타내었다.

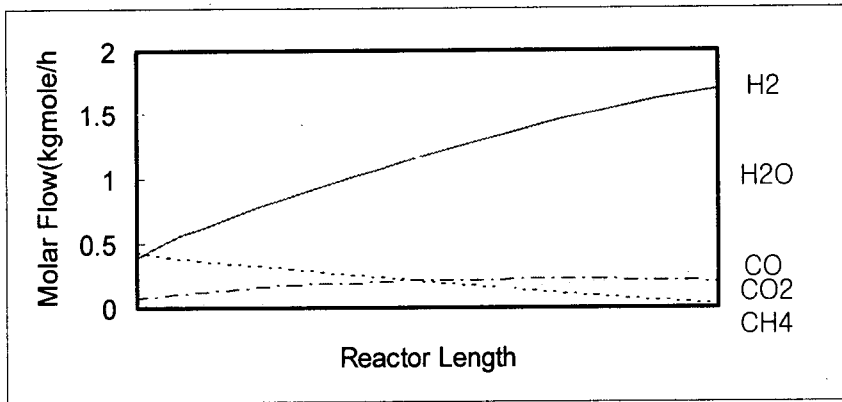


그림 2. 반응기 길이에 따른 성분 흐름의 변화

나) 수성 변환기

CO는 스택의 전극 촉매를 심하게 피독하므로 CO₂로 변환하는 일이 필요하다. 이 기능을 담당하는 반응기가 수성 변환기이다. 이 반응에서는 위의 반응식 r₃에 해당하는 반응이 일어난다. 수성 반응기는 고온용과 저온용 반응기 2개를 사용한다. 수성 반응은 온도가 높을수록 평형상수가 감소하는 반응이므로 온도가 낮을수록 유리하나 낮은 온도에서는 체류시간이 길어지는 단점이 있다. 이러한 이유로 고온용 수성 반응기에서는 반응 속도를 높이고 저온용 수성 반응기는 높은 전환율을 얻기 위해 사용한다.

다) 스택

스택은 200°C이하의 온도에서 그리고 전지 전압이 0.5V이상에서 운전하여야 시스템에 무리가 없다. 또한 촉매 전체에 수소가 일정 농도 이상으로 분포되어야 전극 촉매의 손상을 막을 수 있다.

전류 밀도에 따른 단위 전지의 전압 변화는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$V(i) = E - (i + i_n)r - A \ln\left(\frac{i + i_n}{i_0}\right) + B \ln\left(1 - \frac{i + i_n}{i}\right)$$

연료전지는 수소와 산소가 가지는 화학에너지가 일부는 전기에너지로 다른 일부는 열에너지로 변환하는 장치이므로, 발생하는 열에너지를 냉각 장치를 이용하여 제거하여야 한다. 스택은 100단이고 전극 유효면적을 3600cm²으로 설정하고 전산 모

사를 수행하였다.

A. 냉각 장치

스택은 온도에 따라 전압이 달라지므로 스택을 냉각할 때는 스택과 냉각수의 온도차가 적으면서 또한 스택 내부에서도 온도 분포가 균일한 것이 유리하다. 이와 같은 요구를 충족하기 위해서 스택으로 들어오는 냉각수가 스택보다 10°C 정도 낮은 온도에서 포화 상태로 들어와서 스택에서 열을 얻어 일부가 증기로 되어 나가면서 온도 분포가 균일한 방법으로 설계하였다. 스택을 나온 냉각수는 물탱크에서 기액 분리가 되어 스팀의 일부는 다시 개질 원료로 사용한다.

3. 부하 변화에 따른 전산모사

부하 변화에 따라 전류가 변화하는데, 전류가 변화하면 전압도 변화게 된다. 이러한 상황을 표 1에 나타내었다.

표1. 부하 변화에 따른 시스템 특성 변화

부하 (kW)	전류(A)	단위전지 전압(V)	수소 유량 (Nm ³ /h)	수소 이용률(%)
50	660	0.76	11.8	62.4
40	520	0.78	10.39	55.9
30	380	0.80	8.89	47.8
20	250	0.83	7.47	37.4
10	120	0.87	6.10	22.0

스택에서 나온 미반응 수소는 다시 개질기 버너로 들어가는데, 그 양이 부족하면 개질 반응에 필요한 열을 충분히 공급하지 못하고 그리하여 개질 반응이 덜 일어나서 부하 요구에 맞는 수소를 공급하지 못하는 악순환이 반복적으로 일어나게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 부하 변화에 따른 메탄의 공급량을 구하여 그림 3에 나타내었다.

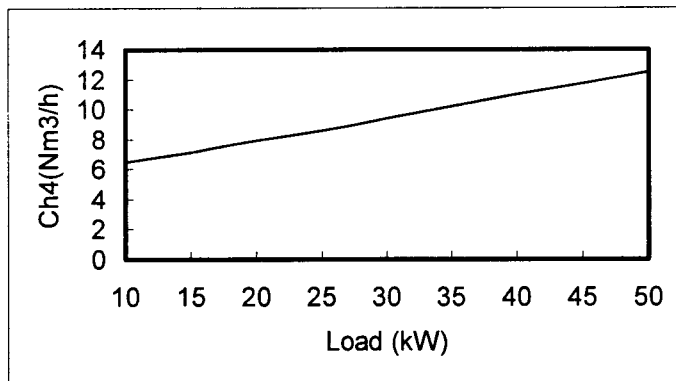


그림 3. 부하 변화에 따른 메탄 공급량

또한, 위에서 구한 메탄의 양보다 10%이상의 메탄이 과량으로 들어가면 스택을 빠져나가는 수소의 양이 많아지고 이것을 버너에서 다 연소하면 개질기의 온도가 올라가서 개질기 온도 제어에 문제가 발생 할 수도 있다.

4. 결론

연료전지 시스템은 스택과 개질기가 서로 영향을 주고 받는 시스템으로 이 장치들을 효율적으로 운전하는 방법은 부하 변동에 따라 원료인 메탄의 양을 정확히 공급하는 것이 필요하다. 따라서, 이번 연구에서는 50kW급 인산형 연료전지 시스템에서 부하 변동에 따른 메탄의 공급량을 알아내었다.

5. 참고 문헌

- 1) 노중석, 김건택, 박영수, 양재춘, 신동렬, 송락현 “50kW PAFC 수냉식 스택 개발”, 연료전지 심포지움 2000 논문집, p9
- 2) Elnashaie, S.S.E.H , S.S. Elshishini, “Modeling, Simulation and Optimization of Industrial Fixed Bed Catalytic Reactors”, 1993, Gordon and Breach Science Publishers
- 3) Ernest E. Ludwig, “Applied process design for chemical and petrochemical plants”, 1964, Gulf publishing company
- 4) Frank L., Evns. Jr. , “equipment design handbook for refineries and chemical plants 2nd edition”, 1979, Gulf
- 5) James Larminie, Andrew Dicks , “Fuel cell system explained”, 2000, Wiley
- 6) Reiner Decher, “Direct Energy Conversion”, 1997, Oxford University Press .Inc
- 7) “Electrochemistry”, Carl H. Hamann, Andrew Hamanett, Wolf Vielstich, 1998, Wiley-vch
- 8) H. Miki, A. Shimizu, “Dynamic characteristics of phosphoric-acid fuel-cell stack cooling system”, Applied Energy, 1998, No 61, p.41
- 9) 김요셉, 진인식, 이광순 “10kW급 인산형 연료전지 설계 및 모사” 2001, 2001화공학회 논문집