

ASPEN-PLUS를 이용한 7 kW MCFC의 성능 모델 및 연료 이용률 분석

강병삼, 안교상, 고준호, 임희천
전력연구원 에너지그룹

Performance Model and Fuel Utilization Analysis of 7 kW MCFC using ASPEN-PLUS

B.S. Kang, K.S. Ahn, J.H. Koh and H.C. Lim
Energy Group, Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract - Molten carbonate fuel cell (MCFC) power plant is expected to be one of the most promising future power generation system for the electric utilities because of its high efficiency, environmental suitability and capability of using coal as fuel. To get such attractive performance, it is necessary to consider optimizing operation and gas recycling system.

This paper describes the simulation results of 7 kW MCFC stack in KEPRI and the effects of the three possible gas recycling operations, i.e. cathode gas recycling, anode gas recycling, anode gas recycling with catalytic burner.

1. 서 론

열역학적 Carnot 효율의 제한을 받지 않는 높은 발전 효율, 무공해 그리고 석탄가스 등 다양한 연료 사용으로 미래 에너지원으로 각광 받고 있는 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell) 발전 방식은 선진 각국에서는 기술개발을 지속적으로 추진하여 상용화 보급 단계에 있는 기술이며, 현재 국내에서는 전력연구원을 중심으로 국가 선도 기술 개발과제로서 100 kW급 외부개질형 용융탄산염 연료전지 개발의 2 단계 과제를 수행중이며 최근에 본 연구원에서 시행중인 7 kW MCFC 스택을 성공적으로 운전하고 있다.

용융탄산염 연료전지가 상용화되기 위하여 스택의 대형화가 필요하고 이에 따라 운전 및 비용의 최적화를 위하여 연료전지 스택 특성을 사전에 해석하고 최적 조건으로 운전하기 위한 설계 및 운전 조건, 스택의 용량 선정이 필요하다. 또한, 운전에 따른 비용과 효율적인 운전 조건의 향상, 연료이용률 분석, 가스의 recycling은 사전에 검토 분석되어야 할 과제로 이를 해결하기 위해서 모사를 통한 연료전지 스택에 대한 면밀한 성능 상관식의 분석이 반드시 수행되어야 한다. 이러한 연료전지의 성능 모델을 기초로한 성능 분석은 여러 가지 이론적

인 모사가 이루어졌으나 그 한계는 단위전지의 분석이나 이론적인 분석에 그쳐 실제 결과와 많은 차이를 보이고 있다는 점이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 실제적인 공정 분석에 많이 사용되고 있는 ASPEN을 이용하여 현재 운전중인 7 kW 스택의 성능 모델을 구현하고 그 모델에 따라 가스의 recycling 이용시 연료이용률을 음극과 양극 가스를 기준으로 각각 분석하여 이를 통한 대형 시스템 설계에 반영하는 과정을 설명하고자 한다.

2. 본 론

전력연구원에서 운전중인 7 kW MCFC 스택은 전극 면적이 3,000 cm²의 직사각형 단전지의 20 층으로 구성되어 있으며 현재까지 3400 시간 이상의 운전을 기록하고 있다. 스택의 표준 운전 조건은 공급 유량이 전류밀도 100 mA/cm²일 때 연료 이용률이 40 %가 되는 조건이며 부하를 걸기 전의 개회로 전압(open circuit voltage)은 21.81 V (1.095 V/cell)로 운전되었으며 초기 운전시 스택 내에서의 단전지 전압 표준 편차는 150 mA/cm²에서 약 9.9 mV를 보여 주어 비교적 안정적인 성능을 보여주었다. 현재 150 mA/cm²에서 스택의 전압은 15.37 V를 보여주고 있고 이때의 개회로의 전압은 21.77 V로 나타났으며 약간의 성능 저하는 내부저항에 기인하는 것으로 보인다. 연료전지는 스택을 제외한 연료 가스의 공급을 위한 가스 공급 시스템, 음극 가스의 수첨가 반응을 위한 가습기, 균일한 공기 공급을 위한 compressor, 출구 가스의 냉각을 위한 열교환기 등 여러 가지 화학 단위 공정으로 구성되어 있으며 전체적인 연료전지의 운전 특성을 이해하기 위해서는 각 단위 공정의 복합적인 동특성의 분석이 필요하다.

여기서 사용된 ASPEN은 화학 단위 공정의 모사를 위해 만들어진 소프트웨어로 이론적인 모사가 아닌 실질적인 실험치를 기반으로 연료전지 공정의 모사를 위해 사용될 수 있으며 천연가스를 사용할

경우 개질기(reformer)내에서의 연료의 성분을 분석할 수 있으며 이론적인 분석이 어려운 가스의 recycling 문제를 쉽게 처리할 수 있다.

현재 전력연구원에서 수행중인 7 kW MCFC 스택의 운전조건과 일치하는 모델을 모사하여 실제적인 결과와 비교하고 연료이용률 스택의 온도 분포 등을 고려하여 최적 운전 조건을 제시하고 이를 토대로 각 각의 가스들을 recycling하였을 때 연료의 이용률과 각 성분의 물분율의 변화를 나타내면 다음과 같다.

2.1 ASPEN을 이용한 성능 모델

연료전지 스택에서 사용되는 가스 공급 시스템, 음극가스의 가습기, 공기 compressor등을 ASPEN 내에 존재하는 각 각의 단위공정으로 다음과 같이 모사를 하였다. 연료전지 공정 자체가 여러 개의 단위공정들의 구성으로 운전됨에 따라 각 단위공정에 대한 정확한 모사가 필요하고 실제적인 출력 값(전압)과 연료의 경제적 이용을 위해 ASPEN를 이용하여 현재의 시스템에 가스 recycling을 포함하여 Fig. 1 과 같이 모사하였다.

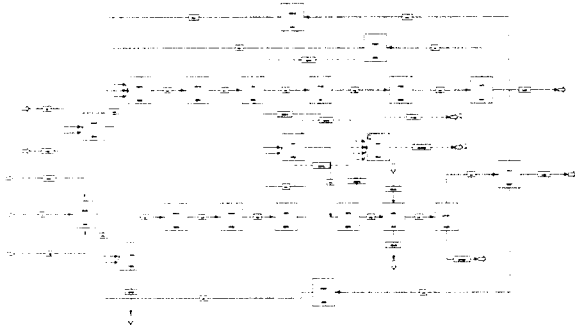


Fig. 1 Process diagram of 7 kW MCFC stack with gas recycling in KEPRI

연료전지 내부의 Faraday 법칙과 Nernst 법칙에 의한 전기 화학적 반응과 그 반응으로 나오는 전압, 전류밀도, 전력은 각 각 In-line FORTRAN 블록을 이용하였다. 블록 내부에 들어가는 전압과 전류밀도와와의 상관 관계식은 시간에 따라 변화하는 함수로 만들었으며 음극가스의 반응 전 단계와 후 단계는 각 각 water-gas shift 반응을 고려하였다. 전체적인 연료전지 스택의 시스템은 물질수지와 에너지 수지를 기초로 구성하여 실제적인 출력을 구할 수 있도록 구성했다.

2.2 양극 가스의 recycling

양극 가스는 공기와 이산화탄소의 공급이 이루어

지고 recycling을 함으로써 반응하지 않고 남아있는 산소와 이산화탄소를 다시 사용할 수 있다.

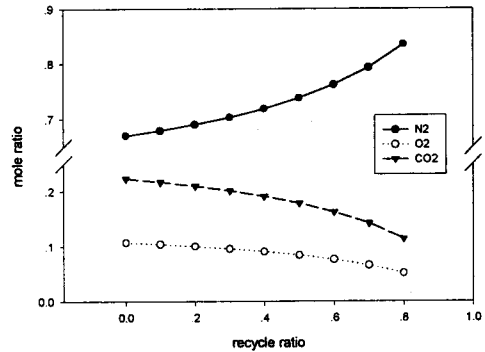


Fig. 2 Relationship between recycling ratio and mole ratio in the cathode outlet

recycling 효과로서 스택내부의 과열을 방지할 수 있으며 사용하는 가스의 양을 줄일 수 있으므로 연료비를 줄일 수 있다. Fig. 2 는 양극가스의 출구의 가스의 조성을 여러 가지 recycle ratio별로 나타낸 것으로 recycle ratio가 증가함에 따라 상대적으로 질소의 양이 증가하고 반응하는 산소와 이산화탄소의 양이 줄어들음을 알 수 있다.

2.3 음극 가스의 recycling

음극가스에는 석탄가스중 수소와 이산화탄소가 공급되며 반응하지 않고 남아 있는 가스는 recycling함으로써 연료비를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 스택내부의 온도 분포의 균일성 유지에도 도움이 된다.

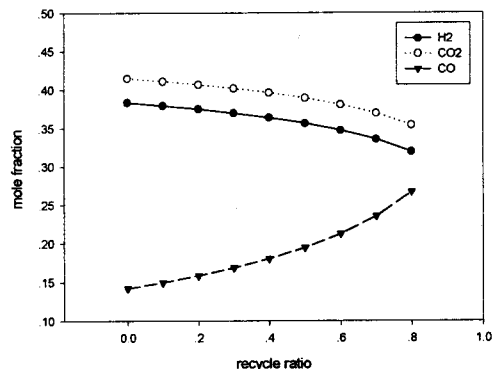


Fig. 3 Relationship between recycle ratio and mole ratio in the anode outlet

3. 결 론

음극가스에 포함된 물은 separator를 통해서 분리되고 사용된 음극가스는 다시 humidifier로 들어간다. 음극가스의 recycle ratio에 따른 출력 가스의 조성을 살펴보면 Fig. 3 과 같이 recycle ratio가 증가할수록 수소와 이산화탄소의 양은 감소하며 water-gas shift 반응에 의하여 일산화탄소의 양은 증가한다.

2.4 Catalytic Burner를 이용한 음극 가스의 recycling

용융탄산염 연료전지는 음극과 양극 모두 이산화탄소를 사용하고 있고 음극에서는 탄소 분해를 억제하기 위한 용도이므로 음극에서 반응하고 나오는 석탄가스를 catalytic burner를 이용하여 연소하여 다시 양극 가스로 사용하여 운전함으로써 연료비의 감소와 함께 burner 열량을 열교환 망으로 이용하여 가스의 전열단계에서 필요한 열량을 쉽게 공급할 수 있다는 장점이 있다.

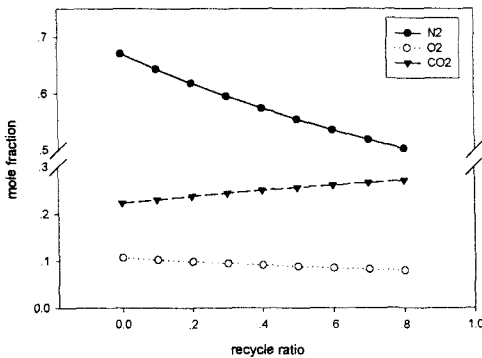


Fig. 4 Relationship between recycle ratio and mole ratio in the cathode outlet using catalytic burner

Fig. 4에서는 연료의 recycle ratio에 따른 출구쪽 양극 가스의 조성을 나타낸 것으로 음극가스에서 catalytic burner를 통하여 공급되는 이산화탄소의 증가와 양극에서 반응에 의한 공기량의 감소를 볼 수 있다. 이러한 운전조건에서는 burner의 온도를 제어할 수 있어야 하며 완전 연소가 가능하도록 하여야 한다. catalytic burner가 제대로 작동되지 않는 경우 양극에서 수소가 반응할 수 있음을 고려해야만 한다.

용융탄산염 연료전지의 운전조건을 분석하기 위하여 7 kW 용융탄산염 연료전지 전체공정을 APSEN을 이용하여 모사하였다. 이러한 모사를 이용하여 양극, 음극 가스의 recycling을 이용할 경우 출구 가스의 조성과 연료의 공급량을 계산할 수 있었다. 연료가스의 recycling을 이용함으로써 연료 이용률의 증가를 따른 연료비의 감소와 스택의 온도 조절 및 catalytic burner를 이용한 예열기의 열교환이 가능하였다.

각 각의 단위 공정을 모사함으로써 운전 조건에 맞는 연료의 공급은 연료의 recycle ratio를 변화시킴으로써 연료전지에 필요한 양을 결정할 수 있으며 대형 시스템의 설계에 반영할 수 있음을 보이고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sampath, V. Sammels, A. F. and Selman, J. R., "A Performance and Current Distribution Model for Scaled-up Molten Carbonate Fuel Cells", J. Electrochem. Soc., 127(1), 79, 1980.
- [2] Wilemski, G., "Simple Porous Electrode Models for Molten Carbonate Fuel Cells", J. Electrochem. Soc., 130(1), 117, 1983.
- [3] O. Bohme, U. H, and F. U. Leidich, "Process Engineering and Cost Estimation of MCFC Power Plants", Fuel Cell Seminar, 61, 1992.
- [4] R. J. F van Gerwen and H. Koetzier, "Modelling a Molten Carbonate Fuel Cell Stack using Measured Data", Fuel Cell Seminar, 77, 1992.
- [5] 고준호, 이충곤, 안교상, "MCFC anode 기체 조성 분석과 기상 반응을 고려한 화학 평형 계산과의 비교", 한국 연료전지 연구회 학술발표회, 60, 1998.
- [6] 임희천, 임태훈, 홍성안 외, "2 kW급 용융탄산염 연료전지 스택개발", 한전 전력연구원 최종보고서, TR. 93T-J03.91.01, 1997.
- [7] 안영주, 정귀영, 주재백, 남석우, 오인환, 임태훈, 홍성안, "용융탄산염 단위 연료전지 내의 에너지와 물질수지에 의한 온도분포의 예측과 운전변수의 영향", 화학공학, 32(6), 830, 1994.