

가압형 SOFC 스택 시스템 개발

Development of the pressurized SOFC stack system

임택현, 송락현, 백동현, 정두환, 신동열,
한국에너지기술연구원 수소연료전지부 신연료전지연구센터

1. 서 론

고체산화물 연료전지(Solid oxide fuel cell : SOFC)는 연료기체가 소유하고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의해 직접 전기에너지로 변화시키는 에너지 변환 장치이다. 고체산화물 연료전지의 특성은 인산형 및 용융탄산염형 연료전지 등 다른 연료전지에 비해 효율이 높고 공해가 적으며, 연료개질기가 필요없고, 연료전지-가스터빈 하이브리드 복합발전이 가능하다는 장점을 갖고 있다[1].

현재 전 세계적으로 연료전지-가스터빈 하이브리드 시스템을 제작하고 운전한 나라는 미국으로서, 지멘스 웨스팅하우스사는 220 kW급 혼합시스템 (연료전지 200 kW급-마이크로가스터빈 20 kW급)을 3기압에서 성공적으로 운전하여 전기발생효율을 53% 달성했다. 또한, Fuel Cell Energy 사에서도 상압형으로 유사한 시스템을 제작하여 운전한 경험을 보유하고 있다. 그리고 일본의 경우 혼합발전 시스템을 위해 미츠비씨 중공업에서 가압형 SOFC 를 개발했으며, 유럽은 톨스로이스와 울리히 연구소가 주축이 되어 SOFC 스택개발을 추진 중에 있다. 그런데 중요한 것은 현재 주로 상압형으로 개발되고 있는 SOFC 스택을 어떻게 효과적으로 가압 운전을 할 것인가와 이를 가스터빈과 효율적으로 연계시키는 방안이 초점이 되고 있다.

본 연구의 목적은 주로 상압형으로 개발되고 있는 SOFC 스택의 가압운전 기술을 개발하고 가압운전에 요구되는 발전 시스템 기술을 확보하는데 있다. 또한, 실제 상압형 운전에서 발생하는 많은 여러 가지 문제점들이 가압 스택에 나타날 수 있으며, 가압형 스택의 운전을 통해 상압형과 가압형 스택의 차이점과 스택 설계상의 개선점이 도출 될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 여러 가지 구성소재의 문제점, 특히 가압 조건에서 발생하는 가스 누출현상의 방지책 마련 등이 있어야 할 것이다. 특히 중요한 것은 가압 스택의 운전 시스템 최적화 및 가스 압력제어의 효과적인 방안, 가압 임계조건의 선정 등이 이루어져야 할 것이다.

이러한 목적을 위해 본 연구에서는 가압형 SOFC 스택 시스템에 대한 구성과 설계, 그리고 독일 울리히 연구소의 상압형 SOFC 스택 시스템 운전에 대한 전반적인 특성평가가 이뤄졌다.

2. 실험방법

SOFC 스택 시스템의 기본 구성성분은 로, 반응기체 공급, mechanical loading system, 제장으로 이뤄져 있는데 그림 1 에 잘 나타나 있다.

2.1 로 (furnace)

스택의 최초 가열, 환원, 운전 시에 사용되는 로는 전통적인 후드형태로서 최대상승

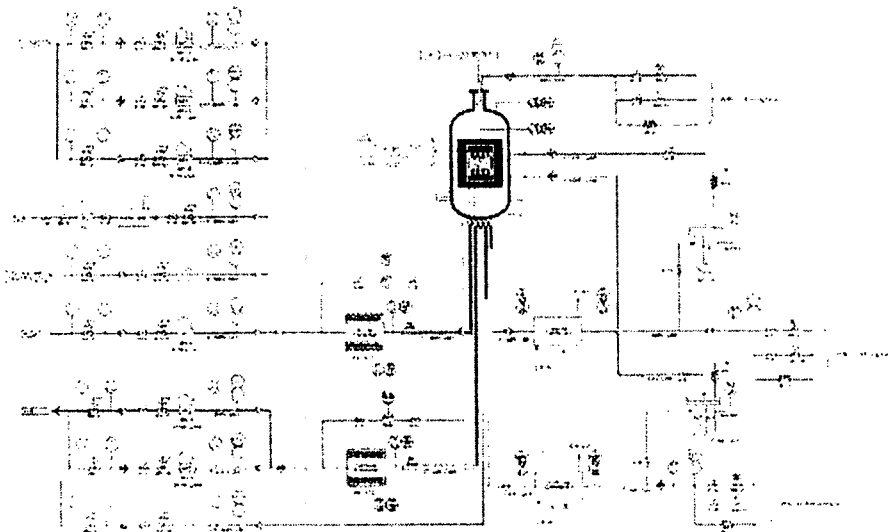


그림 1. SOFC 스택 시스템의 전체적인 개략도

온도는 1280 °C, 사용전력은 20 kW이다. 가열은 후드의 4 벽 열선을 통해 이뤄지며, 후드 자체는 크레인을 이용해서 탈/부착이 이뤄진다. 로 내부는 스택이 존재해야 하기 때문에, 600*700 mm의 면적이 확보되어야 하며, 후드 내의 평균 높이는 벽면에서 1050 mm, 중앙에서 1130 mm 이다. 스택 적층을 위한 높이는 65 cm 정도이며, 로 내부 아래 부분에 사용되는 벽돌은 refractory clay 로 만들어진 벽돌로서 반응기체의 입/출구와 다양한 부분들이 관통하게 된다.

2.2 스택 mechanical loading system

스택에 다양한 mechanical 로드를 주기 위해 무게 지레 시스템이 이용됐으며, mechanical load 는 다양하게 변화될 수 있다. 스택이 조립된 후 일반적으로 200 Kg 의 로드가 스택에 주어지며, 바람직한 실링 온도로 가열되는 동안 일정하게 유지된다. 실링 온도에 도달한 후 1 시간 정도 지나면, 무게는 520 kg 으로 증가되며, 그 때 이후에는 일정하게 무게가 유지된다. 20*20 cm² 셀이 장착된 스택의 경우 약 200 kg 의 최소 로드가 필요하다. 무게 지레 시스템 대부분은 Inconel 로 만들어졌으며, 스택과 무게 지레 시스템 사이의 전기적인 절연을 위해서 알루미늄으로 만들어진 round alumina disc 가 사용된다.

2.3 Gas 공급 설비

스택은 로 내부에서 adapter plate 사이에 위치하게 되는데, 이 부분에서 기체 공급 설비가 연결된다. adapter plate는 DIN 1.4742 합금으로 만들어졌으며, 스택과 바닥 판은 유리-세라믹 밀봉재를 이용해 실링이 이뤄졌고, 스택 바닥 판과 adapter plate 는 mica 로 실링이 이뤄졌다. adapter plate 는 기체공급 설비와 스택을 연결해주며, 2개의 연료 주입구와 1개의 공기 배출구, 2개의 공기 주입구와 1개의 연료 배출구로 구성돼 있다. 연료/공기 흐름

은 스택 내에서 반대방향 흐름을 갖는다. SOFC 시험 설비들은 공기 극에서 산화제로서 공기를 이용하며, 연료극에서 연료기체로서 수소 및 메탄을 이용한다. 수소 및 메탄의 가습화는 계회로전압 (OCV)을 고정 [2]하기 위해 필요한데, 연료 주입가스의 경우 3-10% 정도 주입되어야 한다. 메탄은 가열 중에 코킹 현상을 방지하기 위해 증기/탄소 (S/C) 비율을 1.5-2 정도로 유지해야 한다 [3]. Ar 는 시스템에서 비활성 기체로서 사용될 수 있으며, 대체가스로서 N₂도 이용 가능하다. Ar 바탕에 4-5% 의 H₂ 는 가열/냉각 사이클 도중 연료극이 재산화되는 것을 방지하기 위해 연료전지 연료극에 퍼지 가스로서 사용되며, 비상시에도 사용될 수 있다. 연료 및 공기유량은 MFC (mass flow controller)로 조절되는데 최초가열, 환원, 조업, 냉각 및 가열 등에 이용될 수 있는 범위로 조절된다. 연료 및 공기는 스택에 공급되기 전에 예열기로 가열되며, 연료에 수분을 공급하기 위해 steam generator 시스템이 부착되어서 3-10 %의 수분을 공급한다. 스택으로부터 배출되는 연료 및 공기 라인은 chiller 로 냉각된 후 배출구로 배출된다. 동시에 물은 응축되고 기체 흐름으로부터 분리되어 drain line 으로 배출된다.

2.4 계장 (Instrumentation)

selected interconnect plate 에 thermocouple (지름: 1mm)이 삽입되고, 온도가 측정되며, 스택 내의 온도 분포는 모든 3 방향에서 측정된다. 전압 리드는 spot-welding 되며, current rod (지름이 10 mm)는 볼트 및 너트를 이용해서 스택의 맨 위 및 아래 판에 고정된다. thermocouple, 전압 리드, 압력 측정기로부터의 모든 결과들은 연속적으로 모니터링되며, 분석을 위해 컴퓨터 하드디스크에 저장된다.

3. 이론적 배경

고체산화물연료전지 (SOFC) 수행성은 가압조업이 이뤄질 경우 열역학적 및 운동학적으로 증진된다. 그 이유는 이론적으로 Nernst potential 이 증가하고 활성화분극 및 농도분극이 감소한다. 따라서, H₂ 분압이 증가함에 따라 교환전류밀도 및 제한 전류밀도가 증가하게 됨으로서 가압운전을 통해 전극 운동학이 증가하게 되는 것이다.

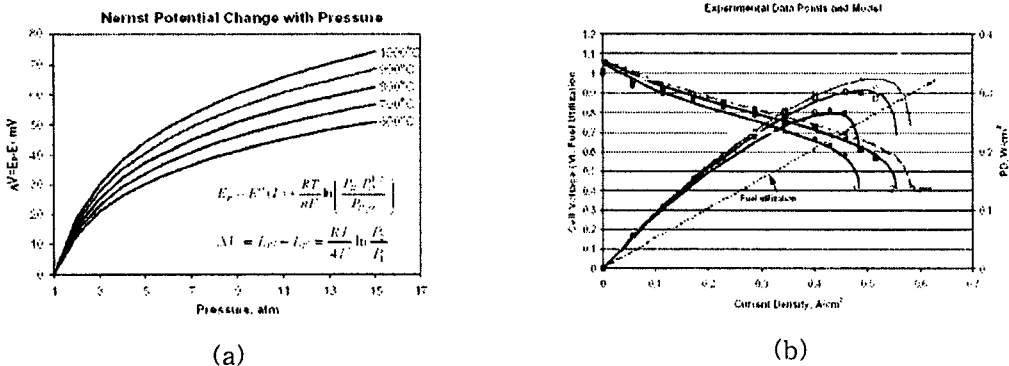


그림 2. 압력에 따른 Nernst potential 변화특성 (a) 및 I-V 특성커브 (b)

4. 연구결과 및 고찰

독일 울리히 연구소에 도입되는 SOFC 스택은 연료극지지체 평판형으로서 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 2장의 스택 및 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 2장의 스택이 운전조건 평가를 위해 사용됐다. SOFC 스택 수행성을 나타내는 I-V 커브 (그림 3 & 4) 특성 분석이 수행됐는데, 실험조건은 스택 내부의 온도와 H_2 , 공기, H_2O 유량은 800°C , 4 l/min, 8 l/min, 18 g/h 였다. 또한, 연료로서 H_2 대신 CH_4 을 주입함으로써 얻어지는 SOFC 스택의 I-V 커브 결과를 분석했으며, fuel utilization에 따른 SOFC stack 내부의 온도분포에 대한 실험도 수행됐다.

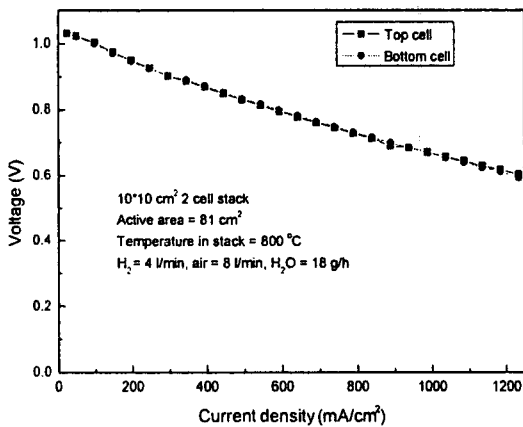


그림 3. $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 2 cell stack

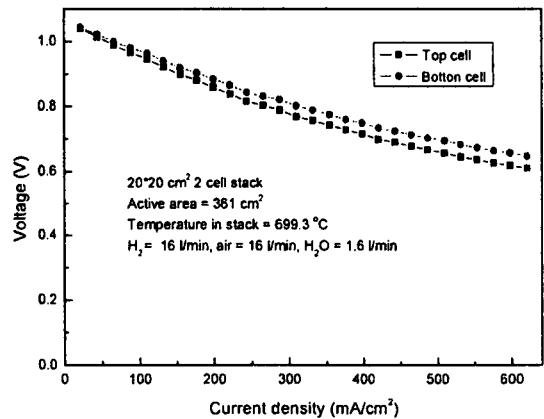


그림 4. $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 2 cell stack

5. 결론

독일에서 도입된 SOFC 스택에 사용되는 셀은 매우 안정된 성능특성을 나타냈으며, 연료 변화조건, 열 사이클 조건에서도 비교적 안정적인 SOFC 수행성 특성을 나타냈다. 또한, 상압형 SOFC 스택 시스템 운전 절차에 바탕을 둔 가압형 시스템에 대한 전반적인 조업기술을 획득할 수 있었으며, 현재, 이를 바탕으로 한 가압형 SOFC 스택 시스템에 대한 상세설계 및 제작이 진행 중에 있다.

6. 참고문헌

- [1] N. Q. Minh, and Takehiko, *Science and Technology of Ceramic Fuel Cell*, Elsevier Science(1995).
- [2] T. Iwata, *J. Electrochem. Soc.* **143**[5], 1521-1525(1996).
- [3] T. C. Hsiao, and J. R. Selman, *Solid State Ionics*, **98**, 38-38(1997).