한국에너지공학회(1998년도)
추계 학술발표회 논문집p293-296

10kW 인산형 연료전지 스택 개발

송락현, 최병우, 이병록, 김창수, 신동열
한국에너지기술연구소

Development of 10kW Phosphoric Acid Fuel Cell

Rak-Hyun Song, Byung-Woo Choi, Byung-Rok Lee,
Chang-Soo Kim, Dong-Ryul Shin
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

인산형 연료전지는 다른 연료전지에 비해 실용화 기술이 가장 앞서 있는 기술이다. 미국, 일본 등의 선진국에서는 이미 수백 kW급 인산형 연료전지 발전 시스템이 상용화 단계에 돌입된 상태이다. 그러나 이러한 인산형 연료전지 시스템도 전지의 고성능화 기술 개발과 장수명화를 위한 기술 개발이 지속적으로 이루어지고 있으며, 발전 시스템의 경제성 및 신뢰성 확보를 위한 기술 개발 노력이 이루어지고 있다. 국내에서의 인산형 연료전지 기술 개발은 지금까지 한국에너지기술연구소를 중심으로 수행되어 왔으며, 10여 년간의 연구 성과로 기초 연구 및 kW급 스택의 개발을 완료하고, 현재는 수십 kW급의 연료전지 스택 개발과 실용화에 적합한 핵심 요소 기술을 개발하는 단계에 와 있다.

본 연구에서는 수십 kW급의 연료전지 스택개발을 위한 전단계로 10kW급 스택제작을 위한 요소기술 개발 및 스택 개발연구를 수행하였다. 실용화 규모인 대면적 전극 및 매트릭스 제조기술을 개발하였으며 기존의 롤링 및 코팅공정에서 부각된 문제점을 개선하기 위해 새로운 전극제조방법인 혼합공정에 의한 전극 제조기술을 개발하고 대면적 매트릭스 제조조건을 확립하였다. 개발된 요소기술들을 실증하기 위해 대면적 전지을 제작하고 특성실험을 수행하였으며 이 실험결과와 지금까지 연구된 소형 스택 연구결과를 활용하여 실용화 규모인 10kW급 스택을 제작하고 운전특성을 조사하였다.

2. 10 kW 스택 제작 및 실험

스택용 대면적 전극은 혼합법에 의해 제조하였다. 전극의 유효 면적은 35 cm x 55 cm 로 하였다. 전극지지체의 두께는 0.26 mm 이었으며, 전극촉매층의 두께는 50-60 ㎛ 범위가 되도록 하여 스택 적층시 전극두께 편차로 인한 문제점의 발생을 억제하였다. 혼합법에 의한 스택용 대면적 전극은 소면적 단위전지에 사용되는 전극과는 달리 많은 양의 전극 촉매층 슬러리가 제조하여야 하다. 제조된 슬러리를 코팅기에 접착된 전극지지체위에 일정한 양을 부은 후 코팅날을 이용

하여 날의 간격을 0.13 mm 하여 코팅을 실시하였다. 그 다음 대기중에서 1일간 건조하고 225℃, 질소 분위기에서 30 분간 건조시킨 후 롤링을 실시하였다. 롤링시 압착 조건은 40 ㎛가 되도록 하였으며, 롤링한 후 다시 앞과 동일한 방법으로 2회째 코팅을 실시하고 건조한 후 롤링을 실시하였다. 마지막으로 롤링한 전극은 350 ℃에서 30분간 소성시켜 전극 제조를 완성하였다.

스택용 메트릭스는 코팅법에 의해 제조하였으며, 제조된 전극의 공기극위에 메트릭스를 최종적으로 0.1 mm 두께가 되도록 코팅을 실시하였다. 대면적 메트릭스에 사용된 재료는 SiC 분말이었으며, 분말과 용매를 혼합하여 슬러리를 제조한 후 코팅을 수행하였다. 바이폴라판의 크기는 460 mm x 630 mm x 8 mm 이었으며, 각 바이폴라판의 측면에 전압 검출선을 삽입하여 전지간의 전압을 측정하여 스택내부의 전압상태를 감시할 수 있도록 하였다. 스택의 냉각판은 기동시 승온과 운전시 냉각의 두가지 역할을 하도록 설계하였다. 반응기체 메니폴드는 외관상 직사각형의 모양을 하고 있으며, 가운데 격리판을 설치하여 반응기체인 연료와 산화제가 섞이지 않도록 하였다.

스택의 조립방법은 첫째 모든 단위전지, 냉각판, 매니폴드 등을 한 개로 조립하는 방법과, 둘째로 스택을 구성하는 단위전지를 몇 개의 그룹으로 나누어서 그룹별로 단위전지, 매니폴드, 압력고정판을 조립하여 몇개의 substack을 제작한 후 이를 전기적으로 연결하는 방법이 있다. 본 연구에서는 10kW급의 비교적 소형 스택이며 국내최초의 제작이라는 점에서 첫 번째 방법인 단일 스택 조립방법을 채택하였다. 제작된 10kW 스택은 그림 1과 같다. 단위전지는 공기극-매트릭스 판 위에 연료극을 설치하여 전극-매트릭스-전극 구조로 하고, 양면에 바이폴라 프레이트를 부착하여 만들어지게 된다. 본 10kW 스택에서 가스의 통로는 "Z" 형태로 설계하였으며 냉각 공기는 5개의 단위전지 마다 1개씩 직선 형태의 공기통로를 갖는 판으로 공급되게 설계하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2와 그림 3은 10 kW 스택을 100시간 운전한 후 성능 특성곡선을 나타내며, 그림 4는 장시간운전후의 성능 특성곡선을 나타낸다. 100시간 운전후 스택의 성능은 274A, 36.9V 이었으며, 이때 출력은 10.1 kW 이었다. 운전시간에 따른 발전 전압-전류 특성곡선을 비교해 보면 운전초기에 고전압에서 약간의 Tafel 거동 양상이 나타났지만 100시간 운전후 스택은 거의 직선적인 모양으로 천이하였다. 이것은 스택을 구성하고 있는 각 단위전지의 분극거동과 관계되며, 운전초기에 전극내 인산의 3상 계면형성과 반응기체의 흐름 양상이 각 단위전지에서 비슷한 거동을 나타내던 것이 운전시간이 경과함에 따라 Tafel 과전압, iR 과전압, 농도과전압의 기여분이 전류에 따라 각 단위전지에서 다른 양상으로 바뀌었기 때문인 것으로 판단된다.

달리 말하면, 스택의 전류-전압곡선은 각 단위전지의 분극곡선의 합으로 나타나며, 스택을 구성하고 있는 대면적 단위전지의 분극 곡선은 전극면적의 위치에

따라 다르게 나타나는 분극 곡선의 합으로 이루어진다. 그래서 스택의 특성 곡선을 이해하기 위해서는 각 대면적 단위전지의 분극거동을 이해해야 하고 그 다음이 단위전지로부터 적층된 스택의 분극곡선이 설명되어야 한다. 스택내 각 단위전지의 위치에 따라 기체 농도와 흐름이 다르기 때문에 분극곡선은 달라지고 이것은 분극곡선의 기본이 되는 Tafel 영역, iR drop 영역, 농도과전압 영역을 쉽게 정의할 수 없게 만든다. 이로 인해 각 영역이 서로 겹치어 나타나게 되어 100시간 운전후 스택의 발전 특성은 직선적으로 변화하게 된 것으로 판단된다.

또한 10 kW 스택의 발전 특성곡선을 보면 스택의 출력은 운전초기와 100시간 운전후 비슷한 출력값을 나타내었고 10 kW급 스택의 연료 이용율은 약 50%로 계산되었으며, 향후에 이 스택의 Compact화, 연속운전 특성, 스택 해체 연구 등이 진행되어야 할 것으로 생각된다. 스택의 단전지별 전압분포를 보면, 최대 0.7V, 최소 0.6V로 약 100 mV 이었으나 운전시간이 경과됨에 따라 전압분포는 점점 균일하게 되었다. 또한 스택내부의 위치에 따른 온도분포를 보면, 전반적으로 비교적 균일한 분포를 나타내었다. 본 연구에서 개발한 스택의 경우, 반응기체의 출구가 스택의 하부에 위치하고 있기 때문에 이 부분에서의 온도가 증가될 것으로 예상하였으나 특별한 경향을 나타내지않았다. 이것은 제작된 스택의 경우 연료이용율이 50%로 비교적 낮아 반응기체가 커다란 조성변화없이 스택의 하부까지 충분히 공급되었기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

10kW급 인산형연료전지의 스택을 개발하기 위해 개발된 전극 및 매트릭스를 근거로 하여 2000cm^2, 63cell로 이루어진 10kW급 스택을 제작하고 성능특성 시험을 실시하였다. 이 스택은 50kW급 이상의 실용화 규모의 대용량 스택제작에 직접 사용 가능한 substack이다. 이 스택은 연료전지 적층부, 냉각공기 메니폴드, 반응공기 메니폴드, 연료전지 스택 받침대, 스택 하우징 등으로 구성되며, 모든 구성요소들이 스택 하우징속에 밀집되도록 설계하고 제작하였다. 스택의 반응기체 흐름은 Z모양이 되도록 설계하고 단위전지 5조당 1매의 냉각판을 삽입하여 운전시 스택내부가 균일한 온도분포를 갖도록 하였다. 스택의 전극 배열은 기체 밀봉을 효과적으로 하기 위해 연료극을 상부에 위치하도록 하고 매트릭스가 코팅된 공기극은 하부에 위치하도록 하였다. 스택을 운전한 결과, 스택은 275A, 36.5A의 정격, 전류, 및 정격 전압하에서 10kW의 성능을 나타내었다.

5. 참고문헌

1. 최수현 외, 연료전지 기술개발 (II), 에너지기술연구소, 연구보고서, KE-910335, 과학기술처(1992)
2. 신동열 외, 인산형 연료전지용 단위전지 요소기술 개발, 에너지기술연구소, 연구보고서, 1993-N-FC01-S-01, 통상산업부(1998)

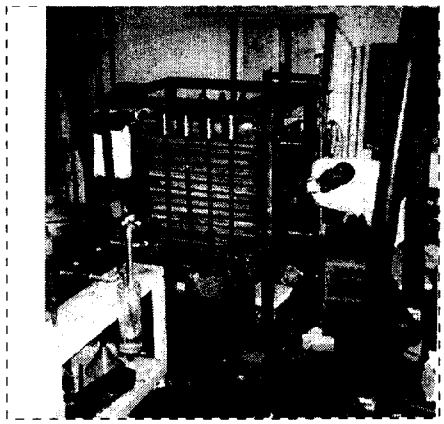

그림 1. 조립된 10kW 스택의 모습

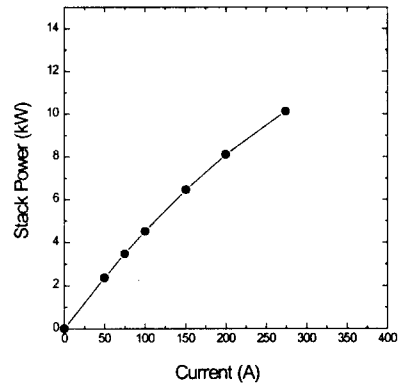

그림 2. 100시간 운전후 10kW급 스택의 발전특성

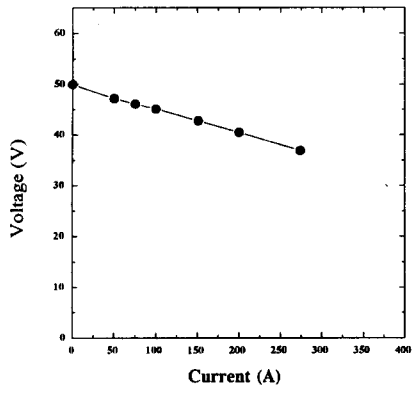

그림 3. 100시간 운전후 10kW급 스택의 전압-전류특성

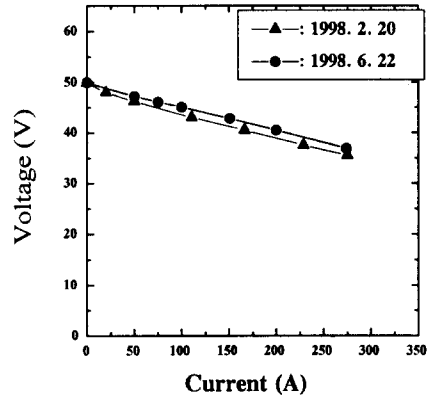

그림 4. 장시간 운전후 10kW급 스택의 전압-전류특