P-16

인산형 연료전지 스택을 위한 요소기술 개발
Development of Fundamental Technologies for PAFC Stack

서성현, 양재춘, 최명천, 권상대, 이희종, 노중석
LG-Caltex 정유㈜ Value Creation Center

1. 서론

연료전지 발전 시스템은 기존의 에너지 전환 방식과 비교하여 무공해, 고출력의 열병합 발전 시스템이다. 이 시스템은 전기화학적 반응에 의하여 전기를 생산하기 때문에 공해물질의 배출이 낮다는 점에서 그 중요성이 커지고 있다.

연료전지는 사용하는 전해질의 종류에 따라 인산형 연료전지(PAFC), 고분자형 연료전지(PEMFC), 용융탄산염형 연료전지(MCFC), 고체산화물형 연료전지(SOFC)등으로 나눌 수 있고, 이 가운데 인산형 연료전지(PAFC)는 현재 기술적으로 가장 성숙되어 상용화를 앞두고 있는 시스템이라 할 수 있다.

인산형 연료전지 시스템의 구성요소는 크게 탄화수소 계열의 연료를 수소로 바꿔주는 개질부(Reformer), 전기화학적 반응이 일어나는 파워섹션(Stack) 그리고 발생된 직류 전기를 교류로 변환 시켜주는 전력변환부(Inverter)로 구분 되며, 이 가운데 실제로 전기가 발생되는 스택은 시스템 전체 출력에 직접적으로 영향을 주기 때문에 매우 중요하다.

LG-Caltex 정유는 1989년부터 인산형 연료전지 개발에 참여하여 40kW 공랭식 스택(1994), 50kW 수냉식 스택(1999) 및 여러 개의 소규모 스택 등을 개발하였다. 이러한 경험을 바탕으로 2000년부터 2002년까지 50kW 인산형 연료전지 시스템 개발 사업을 추진 중이다.

본고에서는 현재 제작 중인 스택의 성능 향상 및 제작 비용을 감소 시키기 위하여 수행한 요소 기술 개발 내용 및 연구 결과, 연구개발의 활용도를 제시하고자 한다.

2. 주요 연구 결과

2.1 합금 촉매

연료전지 스택의 가격이 높은 이유 가운데 하나는 고가의 촉매를 사용하기 때문이다. 따라서 적은 양의 촉매를 사용하면서 높은 성능을 낼 수 있는 촉매를 개발 하는 것이 중요하다 할 수 있다. LG-Caltex 정유에서는 10% Pt-Fe-Co/C, 20% Pt-Fe-Co/C 합금 촉매에 대하여 단위 전지 테스트를 수행하였으며, 20% Pt-Fe-Co/C 이 성능 및 경제성 측면에서 우수한 것으로 사료되어 스택에 20% Pt-Fe-Co/C 전극을 사용하였다.

그림 1.에 10% Pt-Fe-Co/C 와 20% Pt-Fe-Co/C 의 성능을 비교하여 나타내었고, 그림 2.에 각각의 촉매를 사용할 경우 스택 제작 비용을 비교하여 나타내었다.

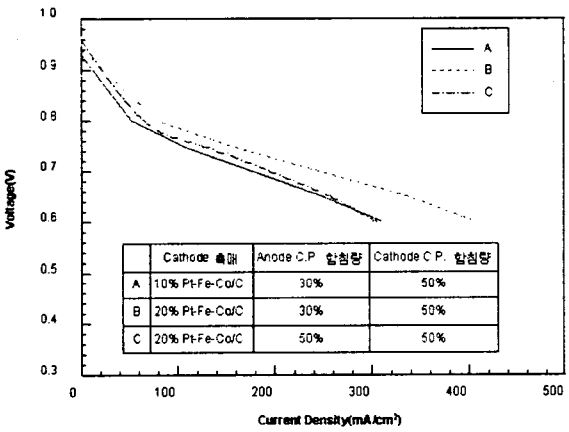

그림 1. 합금 촉매의 성능 비교

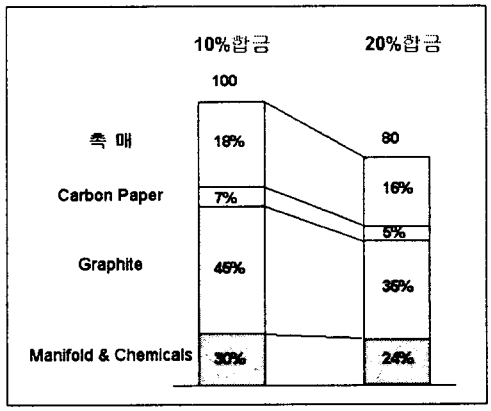

그림 2. 스택 제작 비용 비교

그림 1.에서 보는 바와 같이 20% 촉매 사용 시 0.65V 기준으로 전류 밀도가 약 30% 정도 높게 나왔으며, 이는 스택의 적층 수를 감소시키는 효과를 유발한다. 그림 2. 에서 알 수 있듯이 실제로 전체 스택제작 비용의 약 20%를 절감시키는 결과를 가져왔다.

2.2 인산 함침 온도/시간에 따른 성능 실험

스택 적층 이전에 수행 되어야 할 과정들 중에서 전해질로 사용되는 인산을 전극에 함침 시키는 과정은 중요하며, 함침 조건에 따라 성능에 차이가 있음을 알 수 있었다. 그림 3. 은 인산의 함침 온도에 따라 성능의 차이가 있음을 보여주는 그래프 이고, 그림 4. 는 함침 시간에 따른 성능 곡선을 나타내었다.

각각의 그림에서도 알 수 있듯이 함침온도는 120℃가 적당한 것으로 사료되며, 함침시간은 24시간 이상이 적당한 것으로 사료된다.

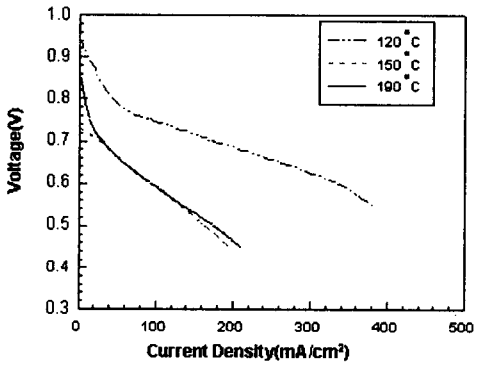

그림 3. 인산 함침 온도에 따른 성능 곡선

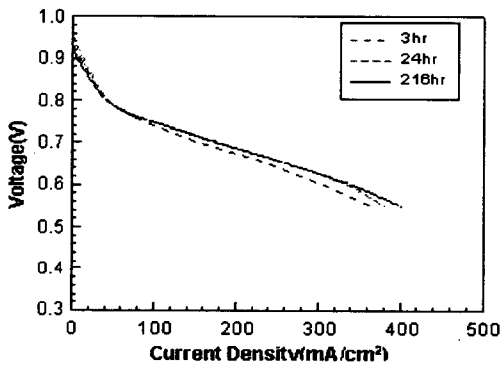

그림 4. 인산 함침 시간에 따른 성능 곡선

2.3 Matrix 두께에 따른 성능 실험

인산형 연료전지는 전극 표면에 SiC 성분의 메트릭스로 코팅을 하여 전기적으로 절연을 시키는 역할과 동시에 인산이 촉매층 외부에 Reserving되도록 한다.

하지만, 메트릭스의 두께가 클수록 이온 전달 저항이 커져서 성능저하의 원인이 될 수 있기 때문에 메트릭스의 두께가 크지않아야 한다. 하지만, 두께가 작을수록 기계적 강도가 약하기 때문에 반응기체가 투과하여 Cross-over가 발생할 수 있다.

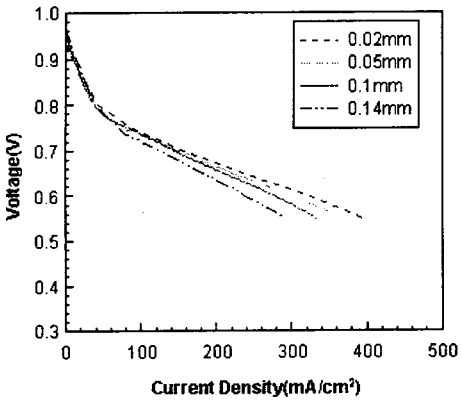

그림 5. 메트릭스 두께에 따른 성능 곡선

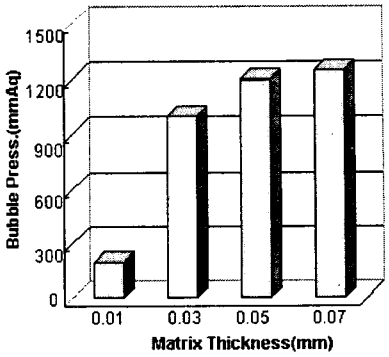

그림 6. 메트릭스 두께에 따른 Bubble Pressure

따라서 전극의 성능과 기계적 강도를 고려한 최적의 메트릭스 두께에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 그림 5. 와 그림 6. 은 각각 메트릭스의 두께에 따른 성능곡선과 메트릭스의 두께에 따른 Bubble Pressure를 나타낸 그림이다.

실험 결과 메트릭스 두께는 성능 과 기계적 강도를 고려하여 0.03 ~ 0.05 mm가 가장 좋음을 알 수 있었다.

현재 LG-Caltex 정유 에서는 Curtain Coater를 사용하여 0.03 ~ 0.05 mm 의 두께로 균일하고 재현성 있도록 메트릭스를 코팅하고 있다.

2.3 단위 전지 장기 운전 테스트

단위 전지의 장기 운전을 수행하여 추후 스택에 적용할 경우에 대한 신뢰성을 확보하였다.

100mA/cm2 과 150mA/cm2 에 대하여 5000 시간 이상의 운전 결과를 그림 7.에 나타내었

다. 운전 조작 실수로 인하여 수소 공급이 2회 중단되었으며, 동절기에 Air Out 부분이 1회 Block 되었다.

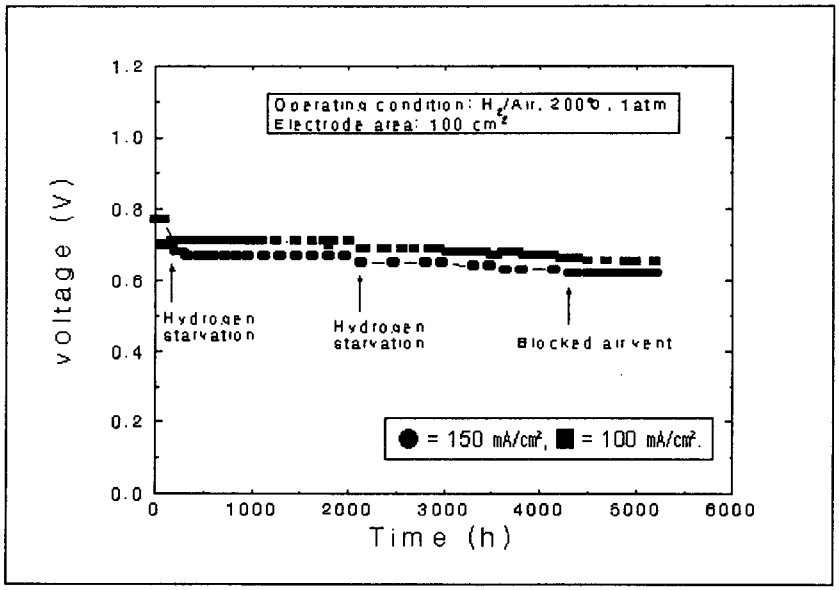

그림 7. 단위전지 장기 운전 테스트

그림에서 알 수 있듯이 수소 공급 중단 시 약 5mV 의 전압강하가 있었고, Air 공급 중단 시 약 2mV의 전압강하가 있었다.

전체적인 성능 저하는 5mV/ 1000hr 로 비교적 장시간 안정적인 성능을 보이는 것으로 사료된다.

3. 결과 및 활용도

본 연구를 통하여 합금촉매, 인산 함침 조건, 메트릭스 두께가 전극 성능에 미치는 영향 등 스택의 성능을 향상 시키기 위하여 필요한 요소기술을 개발하였다.

20% 합금 촉매를 사용하여 스택 제작 비용을 약 20% 절감시킬 수 있었으며, 120℃에서 24시간 이상 전극을 인산에 함침 시켰을 경우 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 전극의 성능과 기계적 강도를 고려할 경우 최적의 메트릭스 두께는 0.03 ~ 0.05mm 임을 알 수 있었다.

5000시간 이상의 단위전지 장기 운전 실험을 통하여 전극의 내구성에 대한 신뢰를 확보 할 수 있었다. 본 연구의 실험 결과를 추후 LG-Caltex 에서 제조할 스택에 적용하여 우수한 성능의 스택을 제조 할 수 있을 것으로 사료된다.