

고분자 전해질형 연료전지의 복합소재 bipolar plate New concept hybrid type bipolar plate in PEMFC

구영모, 김준범

울산대학교 화학공학과

1. 서론

PEMFC는 상온에서 운전이 가능하고 소형화할 수 있다는 장점으로 인하여 자동차나 소형 이동전원 등의 적용분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. PEMFC는 종래의 열기관에 비하여 효율이 우수하고 공해 요인이 없어 환경 친화적인 미래형 시스템이라는 장점이 있으나 고가의 제작경비가 상용화에 걸림돌이 되고 있다. Bipolar plate에 사용되는 graphite는 소재비와 유로 형성에 사용되는 CNC 가공비가 비싸 연료전지 stack의 단가저감이 어려운 실정이었다.

선진국에서는 bipolar plate의 단가저감을 위하여 carbon fiber를 기초로 한 복합소재를 개발 중에 있으나 전도도 저하 때문에 소형화에 필요한 volume energy density 문제에 봉착하고 있다. 본 연구에서는 금속 foam을 기초로 한 복합소재를 사용하여 bipolar plate의 제작단가를 USDOE 목표가격 이하로 저감할 수 있었고 graphite plate와 동등한 성능을 구현하였다. 금속 foam의 재질과 형태의 변형을 통하여 graphite 소재보다 우수한 전도도의 plate를 제작함으로써 연료전지의 효율을 증대시키고 volume energy density 문제도 해결할 수 있을 것이다.

2. 실험방법

실험에 사용된 bipolar plate 제작에는 가격이 저렴하고 전도성이 뛰어난 metallic foam과 기체의 leak을 방지할 수 있는 filler를 사용하여 복합소재 plate를 개발하였다. Metallic foam은 90%이상의 porosity와 600 g/m²의 밀도를 가진 nickel foam을 사용하였으며, filler는 밀봉성이 우수한 고무소재나 silicon, 액상 gasket 등을 사용하였다. 그림 1에는 복합소재 bipolar plate를 나타내었으며 대량생산에 용이한 방법인 pressing 또는 cutting 방법으로 제작하였다. 실험은 상압에서 수소와 산소를 사용하여 수행되었으며, MEA 제작에는 Nafion 115 membrane과 2 mgPt/cm²의 E-tek 전극이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

그림 2에는 70°C에서 복합소재 plate를 사용하여 얻은 가격대비 성능결과와 U. S. Department of Energy(USDOE)에서 제시한 연료전지 stack의 bipolar plate와 그 외 부품의 목표단가를 비교하여 나타내었다. 본 실험에 사용된 복합소재 plate 제작단가의 rough

estimation은 그림 2(b)에 나타낸 바와 같이 \$8/kW로 그림 2(a)의 USDOE 목표를 만족시키고 있다. Nafion 115 membrane 대신 최근 상용화된 고성능 membrane을 사용할 경우 그림 2(c)에 보여진 바와 같이 \$4/kW 이하도 가능할 것이다. PEMFC stack의 에너지 효율을 높이기 위해서는 mass energy density가 높아야 하는데 복합소재 plate의 경우에는 0.33 kg/kW로 USDOE에서 제시한 목표치인 1 kg/kW에 비하여 월등히 가벼우면서도 graphite 소재에 비하여 높은 전도도를 유지할 수 있기 때문에 stack의 무게에 대한 에너지 밀도를 상당한 수준까지 향상시킬 수 있을 것이다.

금속 foam의 형태와 filler의 유무에 대한 성능변화를 그림 3에 나타내었다. 연료전지 전체 반응 면적을 유로가 없는 금속 foam으로 덮고 실험을 수행한 경우에는 성능이 현격히 저하되었다. 이 경우에는 기체 입구와 출구 사이의 최단 거리에 해당되는 부근의 면적으로 대부분의 기체가 이동되고 이외의 부분은 물에 젖은 상태로 있어 반응활성이 저하된 것으로 사료된다. 금속 foam을 유로 형태로 제작하되 filler를 채우지 않은 경우에도 성능이 다소 저하되었는데 이는 pore내에 갇혀 있는 물이 capillary force에 의하여 방출이 어려워지고 결국 전극 diffusion layer의 기체 확산을 방해한 것으로 사료된다. Bipolar plate는 hybrid type으로 소재는 다를지라도 유로의 골과 산을 겸비한 종래의 모양과 동일하게 제작된 경우의 성능이 가장 우수하였다.

그림 4에는 nickel foam과 filler를 사용하고 유로를 형성한 경우의 성능과 종래 graphite plate를 사용한 경우의 성능을 비교하여 나타내었다. 전류밀도가 600 mA/cm² 정도까지는 비슷한 성능을 보이다가 그 이후 hybrid type의 성능이 상대적으로 다소 적게 나타나는 것은 표면의 전도 면적 차이에 기인한 것으로 사료되어지며 이의 보완을 위한 실험을 진행 중에 있다.

PEMFC는 membrane의 이온전도성을 유지하기 위하여 기체를 가습하여 공급하고 있다. PEMFC stack을 자동차나 소형 이동형 전원으로 사용할 경우 현재는 기체를 가습하여 사용하기 때문에 에너지 효율이 저하되고 시스템 구성이 복잡하게 되는 단점이 있다. 연료전지의 상용화를 위해서는 cathode측에 공기를 사용하여 운전단가를 저감시키는 것이 중요하고 대량으로 공급되는 공기의 가습조건을 완화 또는 제거할 경우 시스템의 단순화와 효율 향상을 동시에 성취할 수 있을 것이다.

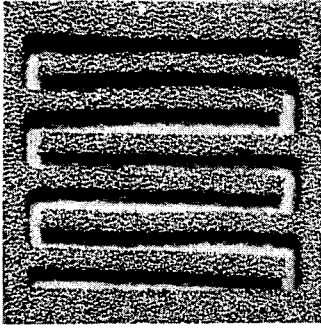
Cathode측에 상온의 가습하지 않은 기체를 직접 공급한 경우의 성능 결과를 그림 5에 나타내었다. Cell 온도가 50°C~80°C 범위의 경우에는 600 mA/cm²까지 가습한 경우와 거의 동등하면서도 안정적인 성능을 얻을 수 있었다. Anode측에 가습을 제거한 경우의 성능 결과를 그림 6에 나타내었으며 500 mA/cm²까지는 안정적인 성능을 얻을 수 있었다. 현재 에너지를 소모하며 과량으로 공급되고 있는 습도의 조건을 비교적 습도 조절이 용이한 내부가습 방식을 사용하여 적절하게 유지할 경우 연료전지의 효율을 한층 더 향상시킬 수 있을 것이다.

4. 결 론

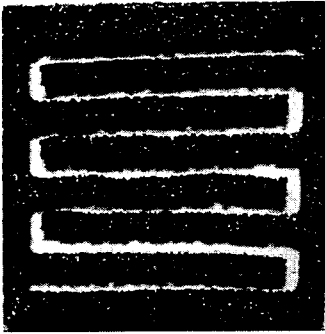
- 1) CNC 가공으로 제작되는 기존 graphite plate의 단가를 저감하면서도 전도도는 높일 수 있는 복합소재 plate를 개발하였으며 cutting이나 pressing 방법으로 제작할 경우 대량생산 체제에도 유리할 것으로 사료된다.
- 2) Stack 가격의 상당부분을 차지하는 bipolar plate를 metallic foam과 filler를 이용한 hybrid type으로 개발함으로써 bipolar plate의 단가를 USDOE의 목표치보다 저렴한 \$8/kW 수준까지 낮출 수 있었으며, bipolar plate의 무게를 0.33 kg/kW 정도로 가볍게 함으로서 기존의 graphite plate나 carbon composite plate에 비하여 에너지밀도를 획기적으로 증가시킬 수 있었다.
- 3) 1 기압, 70°C에서 복합소재 plate를 사용하여 graphite plate와 동등한 0.46 W/cm²의 성능을 구현하였다. 현재 표면의 전도면적을 증대시켜 성능을 개선하는 실험을 수행 중에 있다.
- 4) 복합소재 plate를 사용하고 가습부를 제거한 경우에 대한 실험을 수행하였으며 cathode측의 가습부를 제거한 경우에는 양측 모두 가습한 경우와 거의 동등한 결과를 얻을 수 있었다. 기체이용률에 대한 성능변화를 병행하여 실험을 수행할 경우 연료전지의 효율을 더욱 높일 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

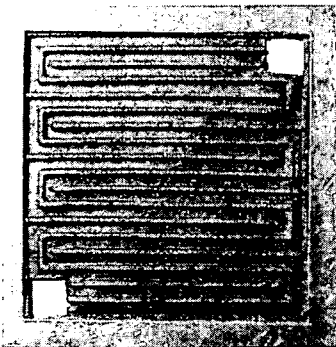
1. James Larminie and Andrew Dicks, Fuel Cell Systems, John Wiley & Sons (2000)
2. Oliver J. Murphy, Alan Cisar, and Eric Clarke, *Electrochimica Acta*, **43**, 24, 3829 (1998)
3. C. E. Borrini-Bird, *J. Power Sources*, **61**, 33 (1996)
4. A. J. Appleby and F. R. Foulkes, Fuel Cell Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York (1993)
5. Paganin VA, Ticianelli EA, and Gonzalez ER, *J. Power Sources*, **70**, 1 (1998)
6. J. M. Smith, H. C. Van Ness, and M. M. Abbott, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 5th ed., McGraw-Hill, New York (1996)



(a) Before sealing compound applied



(b) After sealing compound applied



(c) Pressed Ni foam plate

그림 1. 복합소재 bipolar plate

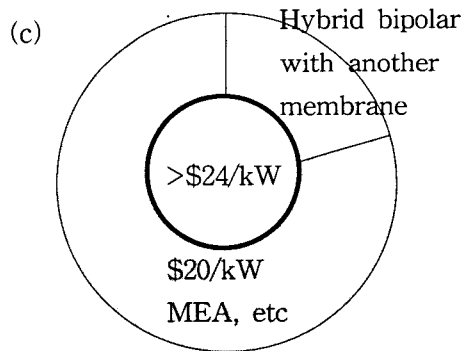
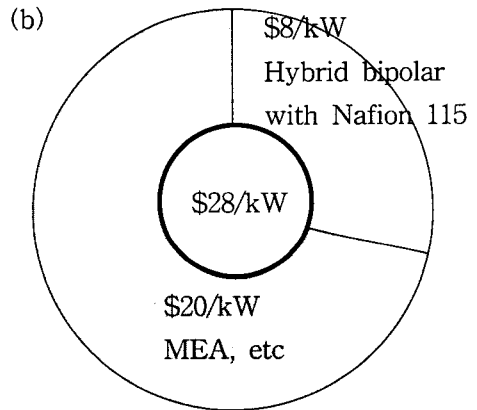
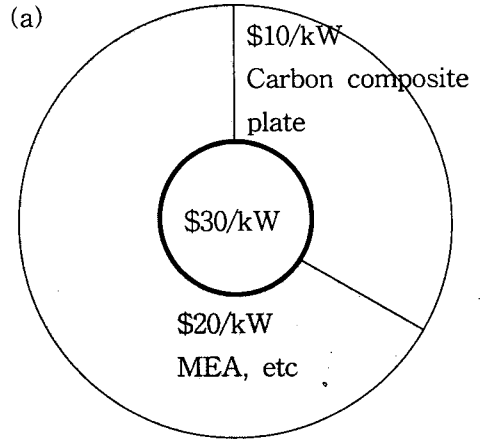


그림 2. Bipolar plate의 단가비교

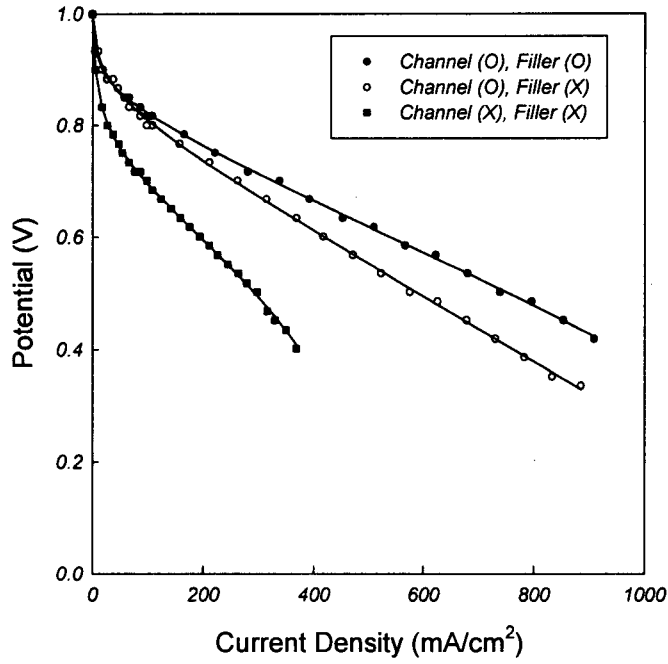


그림 3. Plate 형태에 따른 성능변화 (50°C, 1 atm)

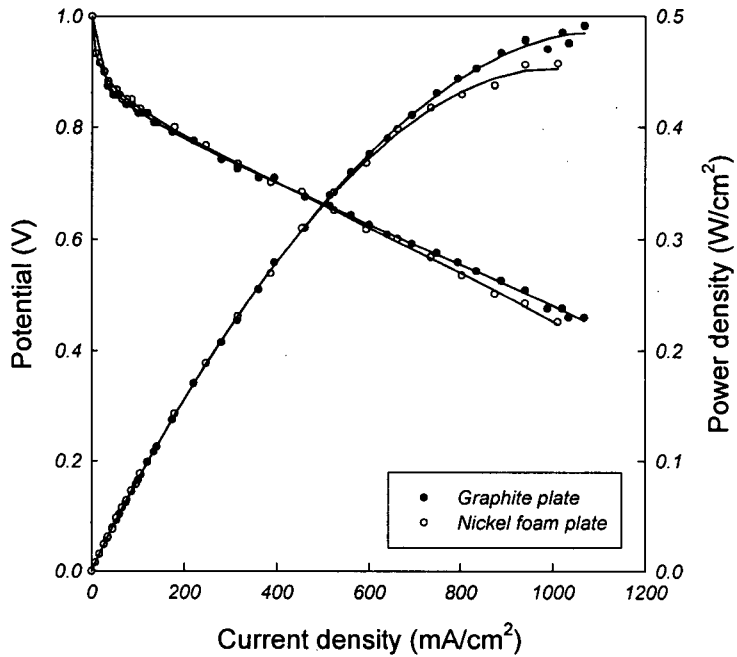


그림 4. Graphite와 복합소재 plate의 성능비교 (70°C, 1 atm)

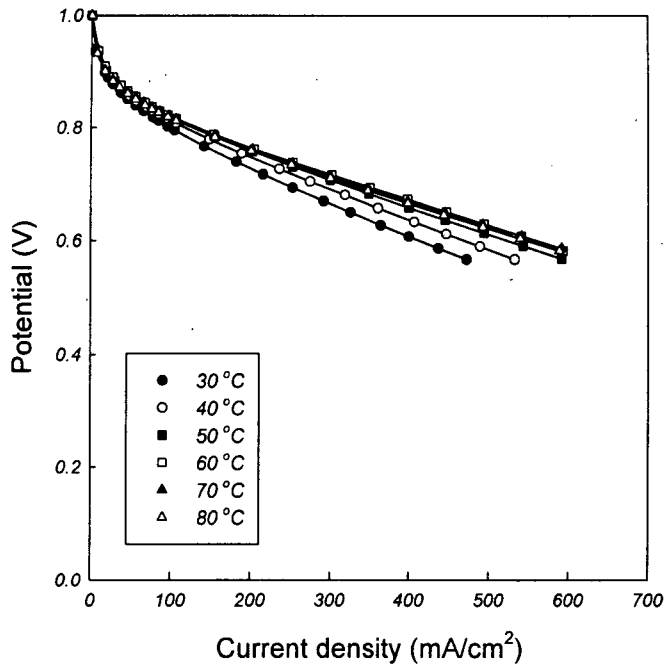


그림 5. Cathode측 가습을 제거한 경우 온도의 영향

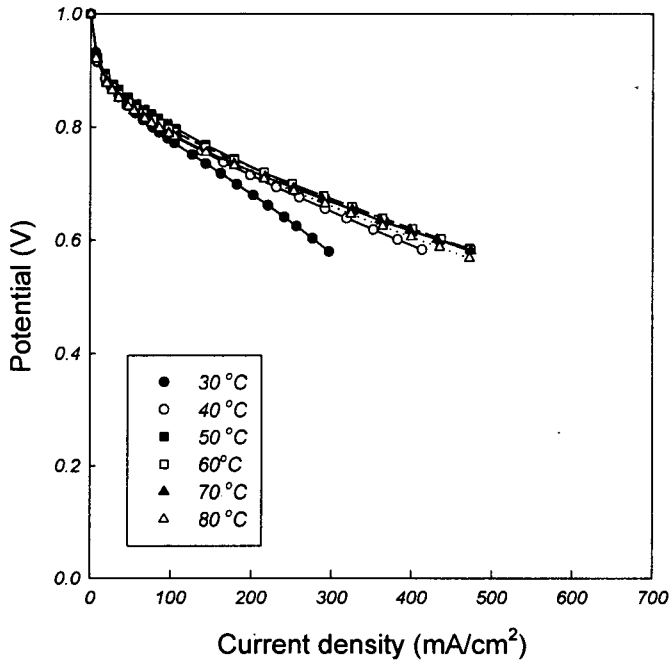


그림 6. Anode측 가습을 제거한 경우 온도의 영향