

KIST의 휴대용 직접메탄올연료전지 연구개발 현황

Recent Progress in DMFC Technologies at KIST

하 흥 용

한국과학기술연구원, 연료전지센터: hyha@kist.re.kr

1. 서론

한국과학기술연구원(KIST) 연료전지센터에서는 고분자연료전지, 용융탄산염 연료전지, 직접메탄올연료전지를 비롯한 다양한 연료전지와 연료개질기에 대한 연구를 수행하고 있다. 직접메탄올 연료전지(direct methanol fuel cell, DMFC)는 90년대 후반부터 연구가 시작되어 현재는 연료전지용 재료와 전극, 스택에 관련된 연구를 진행하고 있다.

직접메탄올연료전지는 연료공급의 용이성으로 인해 휴대용으로 개발되고 있으나 연료인 메탄올의 낮은 반응성과 전해질막을 통한 투과(크로스오버) 현상으로 인해 성능이 낮고, 전지의 수명이 짧으며, 다량의 백금촉매 사용으로 인해 가격이 비싼 문제점을 갖고 있다. 특히, 메탄올투과로 인한 성능저하와 연료손실 등의 문제는 DMFC의 상업화를 위해 가장 먼저 해결해야 할 사항이다. 따라서, 새로운 촉매와 전해질막 개발을 위한 연구가 국내외에서 활발히 전개되고 있으나 아직 뚜렷한 해결책은 제시되고 있지 않은 상태이다.

그러나, 전세계의 많은 회사들에서는 휴대용 DMFC를 상업화하기 위해 노력하고 있으며, 특히 미국과 일본의 여러 회사들에서는 경쟁적으로 중간결과를 발표하고 있고, 수년내에 상업화를 이룰 것이라고 예고하고 있다. 예를 들어, 일본의 NEC, Hitachi, Toshiba, Fujitsu 등의 회사들은 최근들어 DMFC로 가동되는 노트북 PC나 PDA를 공개하고 수년내에 상업화를 이룰 것이라고 발표하였다. 또한, 삼성종합기술원에서도 DMFC를 전원으로 10시간 이상 사용할 수 있는 노트북 PC를 개발하였다고 발표하였다.

본 연구팀에서는 DMFC용 촉매, 전해질막, 전극, MEA 스택, 그리고 시뮬레이션에 관련된 연구를 수행하고 있다. 이번 발표에서는 현재까지 KIST의 연료전지센터에서 얻은 연구결과를 정리하고자 한다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 연료전지 재료는 일반적으로 많이 사용되고 있는 상업용 제품을 사용하였다. 촉매는 E-Tek 또는 Johnson-Matthey 사로부터 구입한 담지 또는 블랙 촉매를 사용하였다. 전해질막은 나피온 115(Du Pont)를 기본으로 하였으며, 이것을 그대로 또는 표면 개질하여 사용하였다. 전해질막-전극 접합체(MEA)는 140°C에서 고온 프레스를 이용해 제조하였다. 바이폴라스택의 분리판은 그래파이트를 사용하였으며, 수동형 DMFC의 경우에는 플라스틱 분리판을 사용하였다.

3. 연구결과

3.1 촉매 성능향상

촉매는 DMFC 스택 가격의 40% 정도를 차지하는 매우 중요한 재료로서, 촉매 성능을 향상시켜야만 DMFC의 가격을 낮출 수 있게 된다. 본 연구팀에서는 크게 두가지 방향에서 촉매 연구를 수행하고 있다. 하나는 촉매의 이용율을 높이는 것이고, 둘은 캐소드 촉매의 성능을 향상시키는 것이다. 촉매의 이용율을 높이기 위해서는 촉매금속과 전해질의 접촉면적을 높여야 하며, 이를 위해서는 촉매에 사용하는 담체의 특성을 개선시켜야 한다. 본 연구에서 고안된 방법을 사용해 제조한 촉매는 기존의 촉매에 비해 20% 이상 높은 성능을 나타냈다 (그림1).

캐소드에서의 산소의 환원반응 속도는 매우 느린 편이며, 특히 공기를 사용하는 경우 낮은 산소분압으로 인해 성능이 매우 낮아지는 경향을 보이게 된다. 캐소드의 백금촉매에 산소저장 특성을 갖는 물질을 담지시키므로써 공기분위기에서 촉매의 활성을 높일 수 있었다.

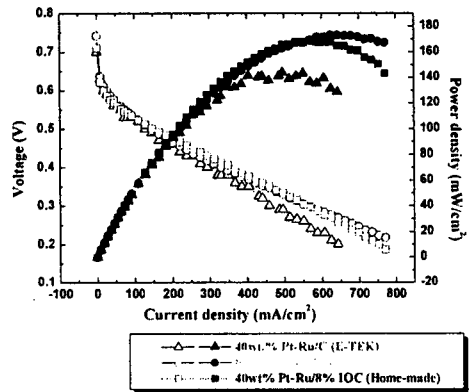


그림 2 개질된 담체를 사용하여 제조한 촉매의 성능비교

3.2. 전해질막의 개질

고분자 전해질막의 메탄올 투과도를 낮추기 위해서는 새로운 고분자를 합성하거나 또는 기존의 나피온막을 개질하는 방법을 사용한다. 본 연구에서는 나피온막의 표면에 실리카 박막을 담지시키므로써 메탄올투과도를 저감시키고 전지성능을 향상시키는 성과를 얻을 수 있었다. 그림2는 저온 플라즈마 증착기술(PECVD)을 이용하여 나피온막의 표면에 실리카박막을 담지시킨 것이다. 10, 32, 68 마이크로미터의 박막이 형성되었으며, 모든 막에서 메탄올투과도가 감소되는 현상을 관찰하였다. 그러나, 실리카막의 두께가 큰 경우에는 이온전도도가 낮아져서 전지성능이 떨어지는 현상이 나타났으며, 10 μ m 실리카 박막의 경우에는 전지성능이 향상되는 결과를 얻었다.



그림 3. PECVD로 담지시킨 실리카 박막의 단면사진

3.3. 스택의 제작 및 성능 평가

바이폴라 분리판을 이용한 스택을 제작하여 성능을 평가하였으며, 이를 이용해 소형 TV를 구동하였다. 그림3은 본 연구에서 제작한 55와트급 스택으로, 전극 면적은 106cm²/cell, 셀은

6개이다. 그림4는 상온 상압에서 2M 메탄올과 공기를 흘리면서 측정된 성능곡선으로서, 공기 유속이 너무 낮거나 높으면 성능이 떨어지는 현상을 보였으며, 따라서 최적의 공기유속이 필요함을 알 수 있다. 그림5는 스택내 각 셀의 온도 분포를 보여준다. 가운데 쪽에서는 온도가 높고, 외곽부분에서는 온도가 낮은 특성을 나타내었다.

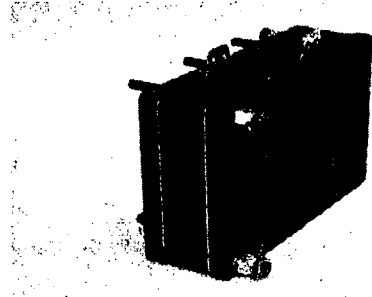


그림 4. 55와트급 스택

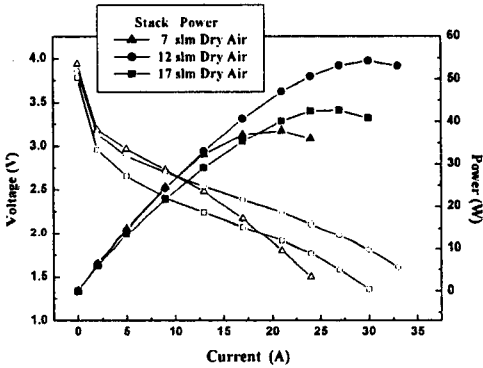


그림 6. 스택의 성능 곡선:공기유속의 영향

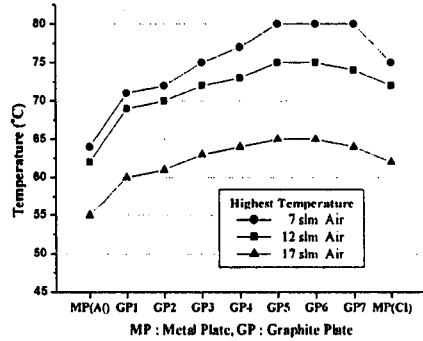


그림 7. 스택내의 온도 분포

3.4. 연료전지의 시뮬레이션

DMFC에서의 유체의 유동 및 반응물 농도변화특성을 해석하기 위해 CFD를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용한 프로그램은 Fluent사의 상용코드를 사용하였다. 그림 6은 메탄올이 공급되는 애노드 분리판 유로에서의 압력분포를 보여주는 것으로, 입구에서는 압력이 높다가 출구 쪽으로 갈수록 압력이 감소함을 알 수 있다. 이러한 시뮬레이션 기술을 활용하면 최적의 분리판 유로설계가 가능해진다.

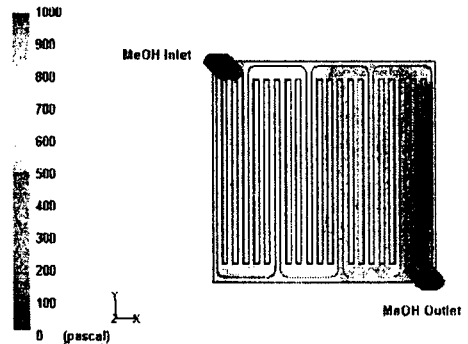


그림 8. 시뮬레이션을 통해 계산된 메탄올 공급 분리판내의 압력분포

3.5. 수동형 DMFC의 특성

DMFC를 5와트급 이하의 휴대전원으로 사용하기 위해서는 시스템의 크기를 줄이고 에너지 밀도를 높여야 한다. 이를 위해서는 펌프나 송풍기와 같은 주변기기를 제거하여 전력소모와 부피증가를 최소화해야 한다. 수동형 DMFC는 펌프나 송풍기의 도움 없이 연료와 공기를 공급하는 방식으로 기존의 스택과는 여러 가지 특성이 다르게 나타난다. 그림7은 수동형 DMFC에서 메탄올 농도에 따른 성능변화를 나타낸다. 일반적으로 메탄올과 공기가 펌프나 팬에 의해서 공급되는 능동형 DMFC에서는 최적의 메탄올 농도가 2M 정도이지만 수동형 DMFC에서는 4M에서 최대 성능을 보인다. 그림8은 KIST에서 제조한 수동형 DMFC의 성능향상 추이를 보여주고 있다. 연구초기에는 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 이하의 성능에 불과하였으나, 현재는 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상의 성능을 얻고 있다.

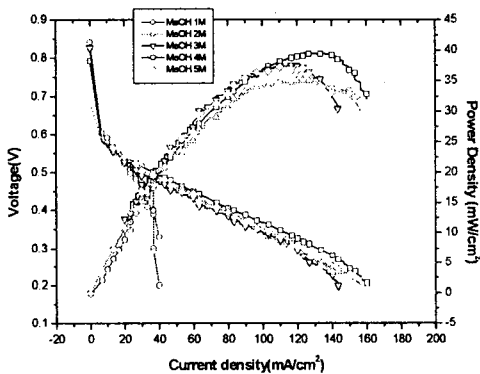


그림 9. 수동형 DMFC의 메탄올 농도에 따른 성능변화

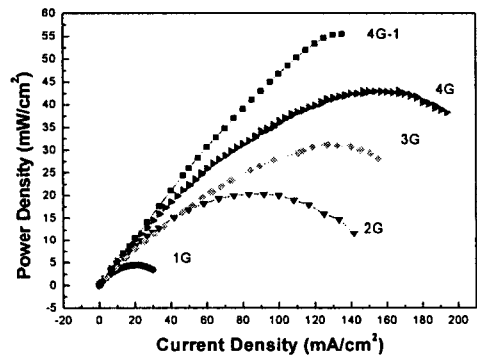


그림 10. KIST에서 제조한 수동형 DMFC의 성능 향상 추이

4. 결론

본 연구팀에서는 휴대용 전원으로 사용할 수 있는 직접메탄올연료전지의 성능향상을 위해 다양한 연구를 수행하고 있다. 촉매와 전해질막과 같은 재료부분에서는 새로운 제조기술을 개발하여 20% 이상의 성능향상을 얻을 수 있었으며, 55와트급의 스택을 제조하여 소형 LCD TV를 가동하였다. 또한, 분리판의 유로를 최적화하기 위해 상용코드를 이용한 시뮬레이션 연구를 수행하였으며, 이를 통해 분리판 유로에서의 유체유동 및 반응물 농도 변화를 예측할 수 있었다. 펌프와 송풍기가 필요 없는 수동형 연료전지를 제작하여 그 특성을 살펴보고 실제 소형 전자제품에 적용해 보았다. 본 연구팀에서는 이외에도 성능향상 및 반응메카니즘 규명을 위해 여러 가지 연구를 수행 중에 있다.