

Special

Thema | 휴대용 마이크로 SOFC

1. 서론

김주선 책임연구원
(KIST 에너지재료연구단)

문주호 교수
(연세대 신소재공학부)

고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell : SOFC)는 연료의 화학에너지를 전기화학 반응에 의해 직접 전기에너지로 변환시키는 장치이다. SOFC의 기본구조를 그림 1에 나타내었는데, 중앙에 치밀한 전해질(Electrolyte)이 있고 양쪽에 다공성 공기극(Cathode)과 연료극(Anode)이 부착되어 있는 단전지와 이를 복수로 직렬 연결할 때 연료기체와 산화제의 혼합을 막고 전기적으로 연결해 주기 위한 연결재(Interconnect)로 구성된다[1]. SOFC는 600 ℃ 이상의 고온에서 운전하여야 하고, 효율이 높아 주로 대형발전용(수 십 MW 이상) 및 분산발전용(수 백 kW 이상)으로의 응용 연구가 활발하였다. 특히, SOFC는 고가의 귀금속을 필요로 하지 않고 탄화수소 계열의 다양한 연료를 사용할 수 있다는 장점이 있는데, 이러한 가격인하의 잠재력과 연료사용의 다양성은 휴대용 전원으로서 개발

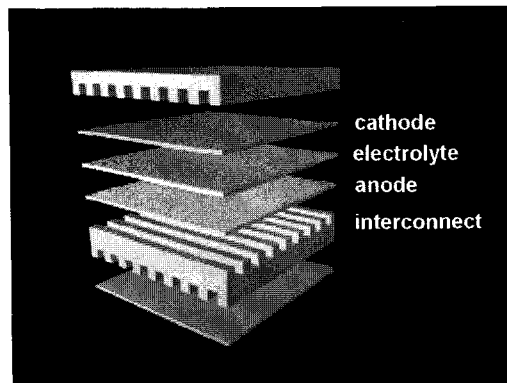


그림 1. 고체산화물 연료전지의 기본구조.

가능성이 높음을 시사하는 것으로서, 최근 소형 전 원용으로 SOFC 연구가 매우 활발하다. 이는 고분자 전해질을 기반으로 하는 PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)와 DMFC(Direct Methanol Fuel Cell) 그리고 기존의 2차전지의 눈부신 발전을 감안할 때 매우 흥미로운 동향이며 이에 대한 재료공학적 검토를 통해 연구의 타당성을 살피는 것이 바람직하다고 판단된다. 따라서 SOFC의 소형화를 위한 연구 동향과 상용화를 위한 기술적 난제들을 검토하고 이의 해결방안에 대하여 논의하도록 하겠다.

2. 마이크로 연료전지

전기화학변환 장치가 고 전력이나 고 에너지나를 따지기 위한 방법으로 Ragone Plot을 사용한다. 그림 2에 보인바와 같이 연료전지는 이차전지나 슈퍼커패시터에 비해 고에너지 특성을 가진다. 이론적인 면에서 비교할 때 이차전지는 연료전지보다 비에너지(Wh/g)가 월등히 낮다. 그러나 현재의 기술수준에선 연료전지의 경우 화학에너지의 전부를 변환시킬 수가 없어서 이차전지가 가지는 50%의 변환효율에 비해 상대적으로 낮은 25% 정도의 변환효율을 나타낸다. 이러한 변환효율의 차이는 향후 연료전지

가 70% 이상의 효율을 달성할 것으로 기대되고 있어 상황이 많이 달라질 것으로 예상된다. 이와 같이 전기화학변환 장치에서 실제와 이론의 차이가 나는 원인은 여러 가지가 있지만, 다행인 점은 연료전지나 전지는 Carnot 사이클에 제한을 받지 않아 기술적인 진보를 통해 효율을 얼마든지 향상시킬 수 있다는 점이다.

마이크로 연료전지는 현재 시장에서 확고한 위치를 차지하고 있는 이차전지가 활용되는 분야, 혹은 보다 고성능이 요구되는 새로운 분야를 대상으로 한다. 연료전지의 가장 전망 있는 시장은 이차전지의 시장과 같아서 개발 목표 또한 여러 분야에서 전지를 대체하려는 데 집중되고 있다. 초기의 연료전지는 재미나와 애플로 우주계획에 사용되었으며, 연료전지의 높은 에너지 변환 효율과 환경친화적인 특징으로 기존의 내연기관이나 연소에 의한 중대형 발전 시스템을 대체하려는 데 주목적이 있었으나, 현재는 휴대전화나 노트북, 가정 전원용 전지 등 소형 전원장치용으로도 활발히 개발되는 추세이다. 이러한 용도의 변화는 현재 상태에서 연료전지가 경제성, 성능, 내구성, 수명 등에서 기존의 내연기관이나 가스터빈의 발전 속도를 추월하는데 시간이 더 필요함을 인식하였기 때문이다.[3]

소형 전원으로서 연료전지를 활용하려는 시도 또한 실용화를 위해서는 여러 해결해야 할 문제가 있다. 엄밀히 말해 현재의 마이크로 연료전지 기술은 운전시간이 약 3,000시간 정도로 이차 전지에 비해 길기는 하지만 10배에는 못 미치는 수준이며 경제성 측면에서도 이차 전지에 비해 크게 유리하지 않아 이차전지와 비교하여 강한 경쟁 상대로 인식되지 못하고 있다. 이는 고분자 전해질을 활용하는 연료전지들의 전극에는 다량의 귀금속 촉매가 활용되기 때문이며, 장치의 소형화 및 연료의 다양성 부여를 위해서는 더욱 더 많은 량의 귀금속 촉매를 필요로 하기 때문이다. 실제로 기존의 수소를 사용하는 소형 PEMFC의 경우에 비해 액상의 메탄올을 사용하는 DMFC는 10배 이상의 백금을 필요로 하며 이에 따라 이차전지와 가격 우위 경쟁에서 절대적인 열세에 놓여있다.

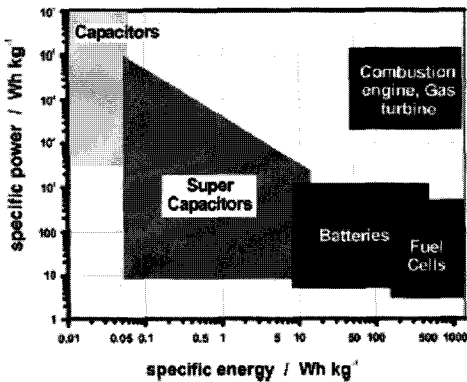


그림 2. 전기화학변환장치의 상대적 에너지 밀도 (Simplified Ragone Plot)[2]

3. 마이크로 SOFC

발전용 및 차량 동력계로서의 SOFC에 대한 활발한 연구로 최근까지 성능의 향상과 다양한 재료계의 개발이 이루어져 최근 이를 소형화하여 기존의 휴대용 전원을 대체하려는 연구가 시작되었다. 실제로 마이크로 SOFC에 대한 개념 및 이를 활용한 집적화에 대한 기본적인 생각들은 이미 1960년대 초에 여러 연구자들에 의해 발표된 바 있으나, 최근의 활발한 연구 동향은 실제, 1990년대 후반 일본의 Hibino가 새로운 세라믹 소재를 채용하여 이른바 단실형 마이크로 SOFC의 성능을 획기적으로 향상시킨데 힘입은 바 크다[4-7]. 이는 마이크로 SOFC가 가지는 여러 장점들에 채용 가능한 소재의 다양성이 더해진 데 기인한다고 하겠다. 이는 기존의 PEMFC나 DMFC의 경우와는 대조되는 것으로서 향후 고성능 소재의 개발로 성능의 향상 및 운전온도의 하향화는 물론 저가의 세라믹 소재를 채택하고 단순한 구조를 구현함으로써 가격 경쟁력의 확보도 기대해 볼 수 있는 등의 무한한 잠재력을 가진 것으로 점쳐지고 있다.

마이크로 SOFC라는 표현은 실제로 마이크로 크기의 연료전지 구조체를 의미하지는 않는다. 보통 휴대용 전원으로 활용 가능한 크기 즉, 휴대폰이나

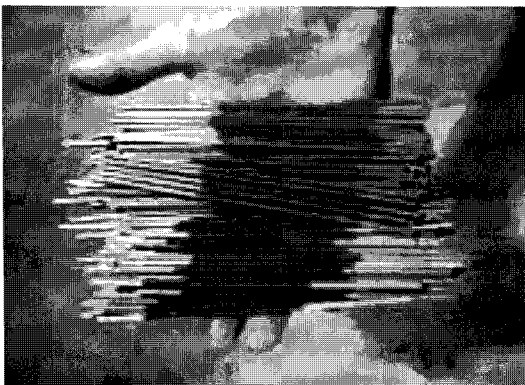


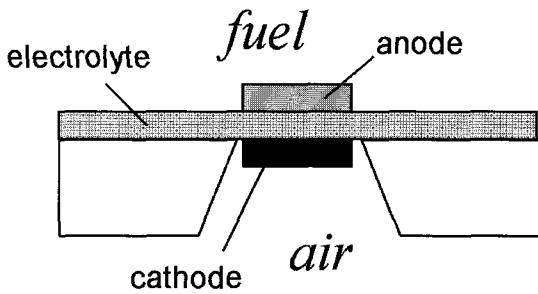
그림 3. 마이크로 튜브형의 단전지 (Adaptive Materials Inc.)[8].

PDA, 노트북 컴퓨터 등의 전원으로 활용할 수 있는 부피를 의미하는데 엄밀히 따져 열관리 장치, 연료통 및 연료 공급계, 산화제로 쓰이는 공기의 원활한 공급에 필요한 부피 등을 고려한 실제 연료전지 시스템의 크기는 현재의 노트북 컴퓨터에 적용되는 2차 전지의 부피 이하인 것이 바람직하다. 최근에 그 범위를 확대하여 전동 자전거, 전동 휠체어 등의 이륜 구동차의 동력이나 휴대 기계장치의 전원으로 활용하는 다소 큰 출력을 필요로 하는 분야까지 포함하는 경향도 있다. 그러나 용량면에서 휴대 전자기기의 전원으로 개발하는 최대 수십 W급의 SOFC를 마이크로-SOFC로 규정하고 이보다 용량이 큰 수백 와트급 이상의 전원을 필요로 하는 연료전지를 Mini-SOFC로 구별하는 것이 적절하다. 한편, 대형 SOFC를 소형화하는 개념으로 기존의 튜브형 단전지를 수 mm 크기로 축소시키고 이를 집적하여 수십 와트급의 휴대용 전원을 개발한 예가 있으며 이를 마이크로 SOFC로 불리고 있다는 점을 주의할 필요가 있는데, 그림 3에 이에 활용되는 소형 튜브형 단전지의 형상을 나타내었다. 비교적 연구개발이 매우 활발하여 현재 군사용 목적의 무인 비행체의 전원이나 병사용 전원의 충전기로 개발되어 있다. 원통형 마이크로 SOFC는 용량 측면에서 Mini-SOFC로 구분하는 것이 보다 적절하다고 판단된다.

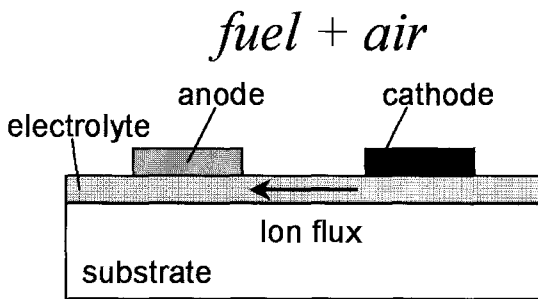
마이크로 SOFC는 연료공급의 형태에 따라 크게 단실형(Single-chamber Type)과 분리형(Dual-chamber Type)으로 구별할 수 있다. 그림 4에 단실형과 분리형 SOFC 단전지의 개략적인 구조를 각각 나타내었다. 분리형 연료전지의 경우에는 개념상 발전용이나 자동차 동력용으로 개발되고 있는 기존의 SOFC나 고분자 전해질을 사용하는 PEMFC나 DMFC와 유사하여 전해질을 사이에 두고 음극에는 연료를 양극에는 산화제를 각각 공급함으로써 전해질을 통한 전기화학 변환을 유도하는 것이다. 단실형에 비해 효율은 높으나 기밀성이 유지되는 각각의 기체 공급체계를 갖추어야 하기 때문에 복잡한 구조를 구성해야 하며 이로 인해 소형화 하고자 하는 경우 집적도의 향상에 제약이 있다. 한편, 단실형의 경우 연료와 산화제를 혼합된 형태로 주입하여 양극과 음극의 촉매특성만을 이용하여 각각의 반응을 유도

하는 방식이므로 별도의 기체 공급에 필요한 유로를 복잡하게 구성할 필요가 없어 집적화에 유리하다. 그러나 분리형에 비해 성능이 낮으며 연료와 산화제의 혼합비에 따라 성능이 변화한다.

소형화된 신 개념 전원이 현재 상용화 되어있는 이차전지의 출력수준을 상회하기 위해서는 최우선적으로 집적화가 용이하고 경제적으로 제조할 수 있어야 하는데 앞서 밝힌 바와 같이 단실형 SOFC가 이러한 요구조건을 만족하는 최적의 연료전지 시스템으로 판단된다.



(a) Dual-chamber Fuel Cell



(b) Single-chamber Fuel Cell

그림 4. 마이크로 SOFC의 종류[3].

4. 단실형 마이크로 SOFC의 작동 원리

단실형 마이크로 SOFC의 작동원리는 기존의 분리형 SOFC의 작동원리와 비교하여 설명하는 것이 좋다. 그림 5에 두 가지 형태의 SOFC의 작동원리를 도식적으로 비교하여 나타내었다. 분리형 SOFC(Dual- or Two-chamber SOFC)는 전해질을 경계로 양극부분과 음극부분에 서로 기밀된 별도의 공간으로 구성되어 있는데 양극쪽에는 산화제인 산소나 공기를, 음극쪽에는 원료인 수소나 탄화수소를 각각 주입한다. 양극쪽에 주입된 산소는 양극의 촉매반응에 의해 산소이온으로 환원되고 산소이온 전도성의 전해질을 통해 음극쪽으로 확산한다. 한편 음극쪽에 주입된 수소는 음극의 촉매반응에 의해 이온화하고 양극으로부터 전해질을 통해 공급된 산소이온과 반응함으로써 전자를 방출하고 물을 생성하게 되는 것이다. 이때 방출된 전자가 외부로 전달되어 전기로서 활용된 후 다시 양극쪽으로 공급되어 연속적인 산소의 환원 반응에 참여하게 된다. 한편, 단실형 SOFC의 경우, 전해질을 경계로 양극과 음극에 별도의 기밀공간을 구성할 필요가 없이 하나의 공간에 위치시키며 연료와 산화제의 공급도 혼합 상태로 한꺼번에 주입한다. 이때 주입된 혼합기체는 양극과 음극에서 각각 앞에서 분리형 SOFC에서의 촉매반응이 선택적으로 일어나게 되고 이중 산소이온은 전해질을 확산하여 이동할 수 있으므로 분리형 SOFC와 같은 반응이 동일하게 일어나며 전기를 생산하게 된다.

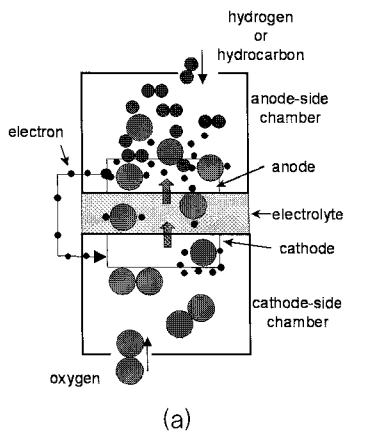
따라서 단실형 SOFC의 경우에는 연료+산화제 혼합기체를 사용하게 되므로 자발적인 연소반응이 일어나지 않도록 적절한 혼합비를 유지해야 할 필요가 있으며 분리형에 비해 연료의 상대적인 주입량이 적어 효율의 저하가 발생하게 된다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 상대적으로 구조가 매우 간단하며, 더구나 그림 4(b)에 보인 바와 같이 전극을 동일 평면상에 구성(On-plane Type)하는 것도 가능하여 반도체 제조에 사용되는 박막공정을 채용할 수 있고 집적화가 가능하다는 장점이 있다.

단실형 마이크로 SOFC는 앞에서 소개한 바와 같

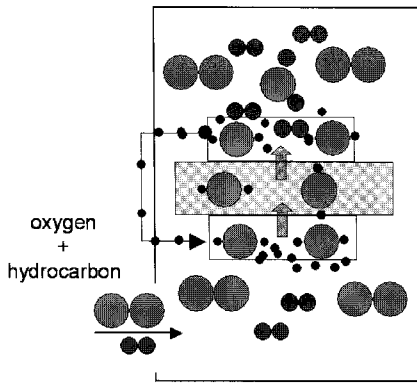
이 전극이 전해질의 상하면에 각각 존재하는 Cross형(그림 5(b))과 전극이 동일평면에 위치하는 On-plane형(그림 4(b))이 있으며 각각의 전극간 거리에 따른 출력특성을 형태별로 분류하여 표시하면 그림 6과 같다. Cross형이 On-plane형에 비하여 출력특성이 우수한 것으로 판단할 수도 있으나 실제로 on-plane형을 제조할 때 공정상의 한계로 전극간 거리를 보다 좁게 제어하기 어려웠기 때문에 보아야 하며 따라서 박막공정 혹은 소프트-리소그래피 공정을 도입하여 전극간 거리를 좁히는 경우 우수한 출력특성을 달성할 수 있을 것으로 예상된다. 물론 전극간 거리를 좁히는 데에는 각 형태별로 한계가 있을 것으로 생각되는데 이는 전해질이 개방전압을 유

지할 수 있을 정도로 충분한 절연강도를 유지해야 할 필요가 있기 때문이다.

표 1에 단일형 마이크로 SOFC와 분리형 마이크로 SOFC의 대표적인 특징을 비교하여 나타내었다. 여기서 주목해야 할 부분은 단일형에서는 혼합기체를 사용하고 탄화수소의 크래킹 반응이 개입하는 음극특성으로 인해 근본적으로 개질기가 필요 없다는 점이다. 물론 이러한 점은 반대로 수소연료를 사용하는 것보다는 효율이 낮다는 단점도 있으나, 역시 구조 및 장치를 단순하게 구성할 수 있는 이점을 제공한다. 또한 분리형에서의 전해질이 경험하는 음극 표면과 양극표면의 극심한 산소분압차이를 단일형



(a)



(b)

그림 5. (a) 분리형(Dual-chamber)과 (b) 단일형(Single-chamber) 마이크로 SOFC의 운전원리.

표 1. 분리형 마이크로 SOFC와 단일형 마이크로 SOFC의 특성 비교[3].

특성분류	분리형 마이크로 SOFC	단일형 마이크로 SOFC
구성요소	단전지, 밀봉재, 연결자, 가스밀봉, 내산화 연결자	단전지(스택), 연결자, 전도성 연결자
가스공급	양극:산화제, 음극: 연료(분리공급)	연료+산화제(혼합공급)
탄화수소 연료사용	개질기 필요, 탄소중착문제 발생	개질기 불필요
전해질 재료	0.2 ~ 10 ⁻¹⁷ 산소분압영역에서 안정한 이온전도체 필요: ZrO ₂ 사용	0.1 ~ 0.15 atm 산소분압에서 안정한 이온전도체 필요: CeO ₂ Bi ₂ O ₃ 사용 가능
스택의 설계 및 공정	복잡, 고가	간단, 저가

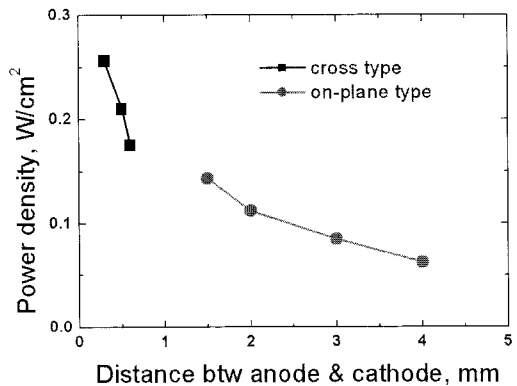


그림 6. 전극간 거리에 따른 마이크로 SOFC의 단위면적당 출력변화.

의 경우에는 고려할 필요가 없어 실제로 지금까지 산소분압에 대한 안정성 문제로 그 활용이 어려웠던 CeO₂계나 Bi₂O₃계와 같은 고이온 전도성 소재를 전해질로 사용할 수 있다는 장점 또한 있다. 이는 SOFC의 구동온도를 획기적으로 낮출 수 있다는 매우 중요한 결론에 도달할 수 있다.

5. 단실형 마이크로 SOFC의 발전

단실형 마이크로 SOFC의 구조는 1965년 W. van Gool에 의해 최초로 제안되었으며[9] 1981년에는 G. A. Louis 등[10]에 의해 특허 출원되었다. 구조는 단실형이라는 점을 제외하면 근본적으로 PEMFC와 유사하며 각 구성 재료를 세라믹 계열로 대체한 것으로 보아도 무방하다. 그림 7에 나타난 것과 같이 한평면에 단전지 여러 개를 직렬 연결하여 집적화를 이루었다는 점을 주목해야 한다. 전해질은 보헤마이트 계열을 사용하고 음극과 양극은 각각 Pt-보헤마이트 혼합체와 SrRuO₃-보헤마이트 혼합체를 사용하였으며 상온에서 0.8 μW의 출력특성을 보였다. 원료로는 수소를 사용하였으며 H₃O⁺ 형태가 전해질 표면을 이동하는 수소이온의 표면 전도현상을 이용하였다. 마이크로 SOFC의 가능성을 확인한 최초의 장치는 C. K. Dyer에 의해 보고되었다[11]. 역시 보

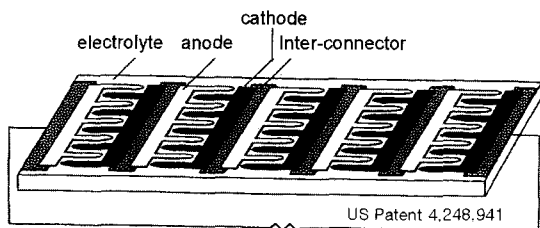


그림 7. Schematic design of the first integrated single-chamber micro-SOFC.[10]

헤마이트 전해질에 백금 혹은 니켈을 전극으로 사용한 것으로서 연료와 산화제를 혼합하여 주입한 후 실지로 출력이 나타남을 보였다.

앞에 기술한 바와 같이 마이크로 SOFC에 대한 연구는 오래전부터 있어 왔다. 그러나 실제로는 그 출력이 매우 낮고 백금과 같은 귀금속을 사용한다는 점, 전해질의 이온전도를 수소이온에 의존한다는 측면에서 진정한 의미의 마이크로 SOFC를 구현해 냈다고는 보기 힘들다. 1990년대에 발전용 대형 SOFC에 대한 연구 성과를 기초로 하여 마이크로 SOFC 연구도 매우 활발하였다. 특히 여러 가지 다양한 형태 및 소재를 활용한 신 개념 마이크로 SOFC가 많이 소개되었는데, 대부분 ZrO₂ 계열의 재료를 전해질로 사용하였으며 Ni계 서멧과 페로프스카이트계 산화물을 각각 음극과 양극으로 사용하여 구성하였다.

2000년대 초 T. Hibino[7]가 단실형 마이크로 SOFC에 대한 연구의 계기를 마련하였다고 볼 수 있는데 실제 의미있는 수준의 출력특성을 나타냈고 소재 또한 세라믹 재료를 사용하였으며 전해질의 전도기구도 산소이온 전도를 사용하였다. 그는 Sm₂O₃ doped CeO₂(SDC) 전해질의 양면에 각각 Ni-SDC와 Sm_{0.5}Sr_{0.5}CoO₃를 음극과 양극으로 도포한 단전지를 만들고 부탄올+공기 혼합체를 주입하여 500 °C에서 400 mW/cm² 이상의 출력특성이 나

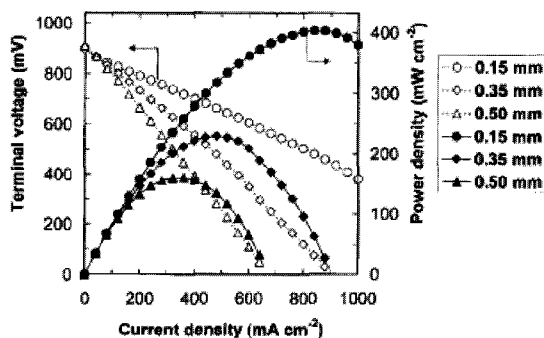


그림 8. SDC 전해질의 두께에 따른 단실형 SOFC의 출력특성(에탄올과 공기 혼합연료 사용, 500 °C 측정)[7].

타남을 확인하였다(그림 8). 이러한 결과는 기존에 비해 매우 낮은 운전온도와 높은 출력값을 달성한 것으로서 최근의 단실형 마이크로 SOFC 연구를 촉발시킨 계기가 되었다. 또한, 기존의 ZrO_2 계열의 전해질을 사용하던 연구에서 새로운 고성능의 전해질 및 전극 재료를 사용함으로써 다양한 재료를 마이크로 SOFC에 적용하도록 하는 전기를 이루었다는 점도 매우 특이하다.

최근의 단실형 마이크로 SOFC에 대한 가장 큰 진보는 2005년의 S.M. Haile[12] 그룹의 연구결과를 들 수 있다. SOFC가 고온에서 운전되어야 한다는 제한은 자체적으로 열을 생산하여 이를 토대로 운전온도를 지속적으로 유지하여야 하므로 한계 용량이 필요하다는 결론에 도달하게 된다. 이러한 이유가 휴대용으로의 적용에 필수적인 소형화의 치명적인 제한요소로 작용되어 왔던 것이 사실이다. 그들은 연료와 산화제의 혼합 기체의 부분산화반응(POX: Partial Oxidation Reaction)을 활용하여 연료전지 반응에 필요한 연료도 직접생산하고 운전에 필요한 온도로 가열하는 것도 동시에 달성하여 소형화의 걸림돌을 근본적으로 제거하였다는데 그 의의가 크다고 본다. 그림 9에 챔버를 초기 가열한 후 별도의 가열 없이도 500 °C 이상 운전온도를 유지한 결과를 나타내었다.

단실형 마이크로 SOFC는 여러 장점에도 불구하고

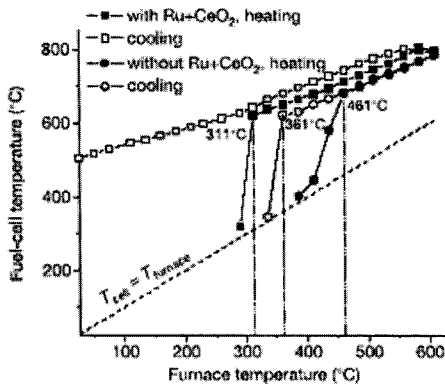


그림 9. 부분산화반응에 의한 단실형 마이크로 SOFC의 운전 중 챔버내 온도변화[12].

고 시스템으로서의 적용 연구가 미진하였는데, 그 이유 중 하나는 스택의 구성에 대한 연구진척이 없었기 때문이다. 전극이 전해질의 양면에 위치한 형태의 경우에는 스택화 연구가 일부 존재하나 양산성의 제한으로 그 활용 가능성이 높지 않으며, 전극이 모두 한 평면위에 존재하는 경우, 특히 전극이 서로 깎지킨 손가락처럼 구성된 Interdigitated 전극 형태에서는 스택화가 어려운 것으로 알려져 있었다. 최근에 이러한 형태에서 각 전극간의 거리에 따른 출력의 변화에 대한 연구가 보고되어 설계의 최적화를 통해 집적 및 스택화 가능성을 밝혔다. 그림 10에 전극의 거리에 따른 출력의 변화를 보임으로써 실제 전극간 거리를 최소화하면 출력 향상이 가능하고 집적화를 통해 성능향상이 가능함을 보였다[13-16]. 특히 집적을 위해 전극쌍의 수를 증가시키는 경우 개방전압이 감소할 수 있음을 실험적으로 밝힘으로써 설계 최적화의 중요성을 강조하였다. 그림 11에 보인바와 같이 한평면에 놓인 전극쌍의 수가 증가하는 경우 개방전압이 지수 함수적으로 감소하고 이러한 현상은 전극 상부에 형성된 산소분압의 차가 유지되지 않고 서로 중첩되기 때문이라고 보고 하였다[13-16]. 이와 같이 전극쌍을 증가시켰을 때 나타나는 개방전압의 급격한 하락은 마이크로 SOFC를 스택으로 구성하는데 치명적인 단점으로 작용할 수 있다. 그러나 이 또한 전극쌍 간의 거리를 전극간 거리와

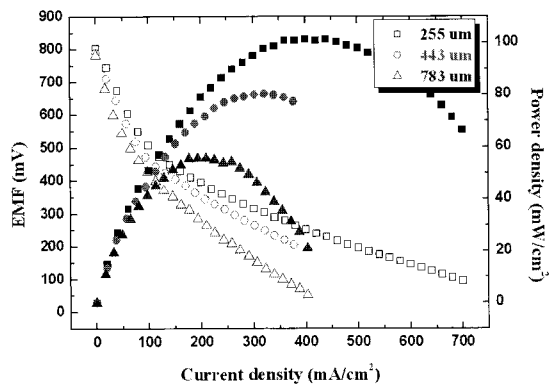


그림 10. 전극간 거리에 따른 단실형 마이크로 SOFC의 출력특성 변화.

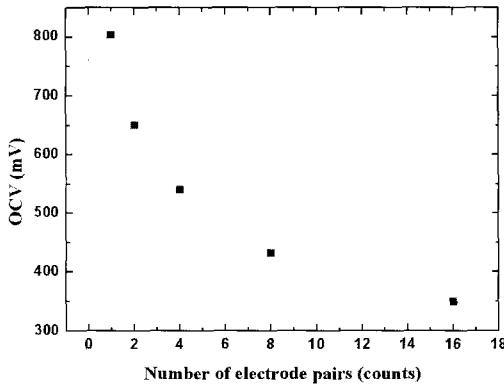


그림 11. 전극쌍의 수에 따른 단실형 마이크로 SOFC의 개방전압 변화.

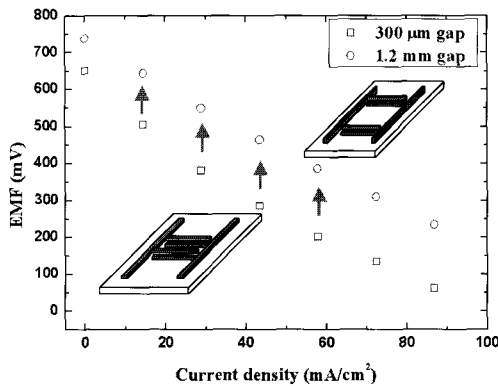


그림 12. 전극쌍 간격의 비대칭화에 의한 단실형 마이크로 SOFC의 EMF 변화.

차이를 두는 비대칭형 구조를 구성하는 경우 극복이 가능함을 보임으로써 문제점을 해결할 수 있음을 보였다. 그림 12에는 전극쌍간 거리를 전극간 거리와 비대칭으로 구성하는 경우 EMF가 회복되는 것을 나타내었다.

6. 마이크로 SOFC 연구의 발전방향

앞에서 서술한 바와 같이 휴대형 전원으로서의 단실형 마이크로 SOFC의 활용가능성은 매우 높다. 그럼에도 불구하고 기존의 PEMFC와 DMFC와 같

은 고분자전해질을 활용하는 마이크로 연료전지에 비해서는 기술개발 기간이 매우 짧아 실제 상용화가 가능할지 판단하기에는 이르다. 마이크로 SOFC 스택 자체의 경우에도 아직까지 진정한 의미의 집적화에 성공한 연구결과는 없으며, 향후 수 년 내에 심도 있는 연구가 진행되어야 하는 분야이다.

연료전지는 기존의 개념을 벗어나 새로운 시도를 필요로 한다. 만약 국내의 축적된 IT산업 관련 기술을 활용하여 반도체 및 메모리 제조기술로 대별되는 집적화 기술을 연료전지에 적용할 수 있게 된다면 마이크로 SOFC의 발전을 기약할 수 있을 것이라고 판단된다. 마이크로 SOFC를 구현하기 위해 해결해야 하는 기술적 난제들은 산재한다. 박막공정을 활용하여 다공성 전극을 구성한다거나, 다양한 재료를 열적 이력에도 변형없이 적층하는 기술, 스택 이외의 주변 장비들의 극소형화 기술, 신뢰성 및 안전성 확보, 열관리 및 단열 기술 등에 대한 전반적인 신기술 개발을 필요로 한다.

참고 문헌

- [1] 강상규, 김경호, 소대섭, 송락현, 순근숙, 이상국, "고체산화물 연료전지 나노소재," 심층정보분석 보고서, 한국과학기술 정보연구원 2002.
- [2] M. Winter and R. J. Brodd, "What are Batteries, fuel cells, and Supercapacitors?," Chem. Rev. 104 4245-69, (2004).
- [3] 김주선, 김근호, 이종호, 문주호, 이해원, "휴대전원용 마이크로 SOFC," 세라미스트, 7 [6] 82-87 (2005)
- [4] T. Hibino, Y. Kuwabara, and S. Wang, "Effect of electrode and electrolyte Modification on the performance of One-chamber solid oxide fuel cell", J. Electrochem. Soc., 146, 2821-2826 (1999).
- [5] T. Hibino, H. Tsunekawa, S. Tanimoto and M. Sano, "Improvement of a Single-chamber solid oxide fuel cell and evaluation of new cell designs", J. Electrochem. Soc., 147, 1338-1343 (2000).
- [6] T. Hibino, S. Wang, S. Kakimoto, and M. Sano, "One-chamber solid oxide fuel cell constructed from a YSZ electrolyte with a Ni anode and LSM cathode", Solid State Ionics, 127, 89-98 (2000).
- [7] T. Hibino, A. Hashimoto, T. Inoue, J.-I. Tokuno, S.-

I. Yoshida and M. Sano, "A Low-Operating-Temperature Solid Oxide Fuel Cell in Hydrocarbon-Air Mixtures", Science, 288, 2031-2033 (2000).

[8] <http://www.adaptivematerials.com>

[9] W. van Gool, "The possible use of surface migration in fuel cells and heterogeneous catalysis", Philips Research Reports, 20, 81-93 (1965).

[10] G. A. Louis, J. M. Lee, D.L. Maricle, and J. C. Trocciola, "Solid electrolyte electrochemical cell", US Patent 4,248,941 (1981).

[11] C. K. Dyer, "A novel thin-film electrochemical device for energy conversion" Nature, 343, 547-548 (1990).

[12] Z. Shao, S. M. Haile, J. Ahn, P.D. Rhnney, Z. Zhan, S.A. Barnett, "A thermally self-sustained micro solid oxide fuel cell stact with high power density," Nature, 435 795-798 (2005).

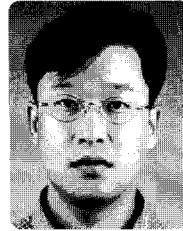
[13] S. J. Ahn Y. B. Kim, J. Moon, J.H. Lee, J. Kim, "Co-planar type single chamber solid oxide fuel cell with micro-patterned electrodes," J. Electroceramics, 17 689-93 (2006).

[14] S. J. Ahn, Y. B. Kim, J. Moon, J.H. Lee, J. Kim, "Fabrication of Co-Planar Type Single Chamber SOFC with Patterned Electrodes, J. Kor. Ceram. Soc., 43 [12] 798-804 (2006).

[15] S. J. Ahn, Y. B. Kim, J. Moon, J. H. Lee, J. Kim, "Influence of Patterned electrode geometry on performance of co-planar single chamber solid oxide fuel cell," J. Power Source 171 511-16 (2007).

[16] S. J. Ahn, J. H. Lee, J. Kim, J. Moon, "Single chamber solid oxide fuel cell with micropatterned interdigitated electrodes," Electrochem. & Solid State Lett., 9 [5] A228-31 (2006).

저|자|약|력



성 명 : 김주선

◆ 학 력

- 1990년 연세대 요업공학과 공학사
- 1992년 KAIST 재료공학과 공학석사
- 1998년 KAIST 재료공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1998년 - 2000년 U. PENN Post Doc.
- 2000년 - 현재 KIST 에너지재료연구단 연구원, 선임, 책임 연구원



성 명 : 문주호

◆ 학 력

- 1990년 연세대 요업공학과 공학사
- 1995년 U. Florida 재료공학과 공학석사
- 1996년 U. Florida 재료공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1996년 - 1998년 MIT Post Doc.
- 1998년 - 2000년 일본 나고야 공업기술원 초빙연구원
- 2000년 - 현재 연세대 신소재공학부 부교수

