

보조전원 (APU)용 고체산화물 연료전지 (SOFC) 발전 시스템

신동열, 백동현, 송락현, 임탁형
한국에너지기술연구원
{drshin, dhpeck, rhsong, ddak}@kier.re.kr

1. 서론

고체산화물 연료전지(solid oxide fuel cell: SOFC)는 연료의 화학에너지를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 직접 변환시키는 에너지 변환 장치이다. SOFC는 기하학적인 모양에 따라 원통형, 평판형, 일체형 등으로 나누어진다. 이 가운데 원통형 연료전지의 기술이 가장 많이 개발되어져 있으며, 평판형도 빠른 속도로 연구개발이 진행되고 있다. SOFC는 구조와 용량별로 적용분야가 다양하며, 이동용, 주거용, 보조전원용 및 대형 발전용 등 소형 시스템에서부터 대형시스템까지 여러 분야에서 기술 개발이 진행되고 있다.

SOFC 기술은 현재 분산형 전원에 적용하기 위한 250 kW급이 개발되어 있으며, 소용량의 경우 가정용으로 1-5 kW급의 개발이 진행되고 있다. 또한 MW급 발전소를 실용화하기 위한 연구 개발도 진행되고 있다. 지금의 기술 추이로 보아 평판형 SOFC는 요소기술 및 소재 기술, 스택 설계 기술 확보에 연구 개발이 집중되고 적용분야는 소용량에 응용될 것으로 예상된다. 기술적으로 우위에 있는 원통형 SOFC는 소용량의 보조전원과 이동용, 주택용으로부터 대용량 발전시스템으로 응용이 진행될 것으로 판단된다.

최근에는 SOFC 기술을 자동차의 전원에 응용하려는 연구 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 현재의 기술적인 측면을 고려하여 우선 보조 전원(Auxiliary Power Unit, APU)용으로 고려하고 있다.

본 원고에서는 산업자원부가 지원하는 에너지·자원 기술개발사업중 프로젝트형 개발사업으로 수행되고 있는 “보조전원(APU)용 고체산화물(SOFC) 발전 시스템

개발” 과제에 대하여 소개하고자 한다. 먼저 APU용 SOFC 발전기술의 개요를 소개하고 본 과제에서 개발하고자하는 APU용 SOFC의 형태를 마이크로 튜브 셀로 선정하게 된 배경을 소개한다. 그리고 선진국의 개발 현황을 분석하고 마지막으로 본 과제의 개요를 설명하였다.

2. APU용 SOFC 발전기술과 현황

2.1 APU용 SOFC 발전기술의 개요

보조전원(auxiliary power unit: APU)은 장비의 주전원이 아닌 2차적으로 전력을 보충해주는 발전장치로서, 주전원이 정지한 경우에도 고효율의 전력을 제공할 수 있는 독립운전이 가능한 전원 장치로 정의할 수 있다. 적용 분야로는 디젤트럭, 이동용 장비, 군사장비, 비행기, 전동차 및 자동차 등에 사용할 수 있다.

현재 세계적으로 연료전지 APU 발전시스템은 고분자 연료전지(PEFC) 방식이 많이 개발되어오고 있다. 이러한 PEFC로 구성된 APU 발전시스템은 효율적 시스템 관리라는 측면에서는 큰 장점을 가지고 있으나, 근래에 들어서는 몇 가지 기술적인 문제를 해결하기 위한 연구

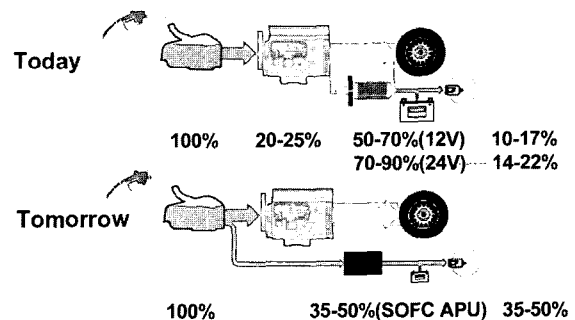


Fig. 1. SOFC APU 시스템의 기능과 발전 효율 비교.

Table 1. 4 kW SOFC APU 장착 Truck Cab의 연료소비량과 유해물질 방출량

Idling Mode	Fuel (gal/yr)			NOx(ton/yr)	PM(ton/yr)
	Light	Typical	Heavy	Typical	
Main Engine Idling	936	1,548	2,160	0.147	0.002
4 kW SOFC APU	180	288	468	~0	~0
Saving at Idle	756	1,260	1,692		
	80.8%	81.4%	78.3%	>99%	>99%

(Note: Light - 600rpm, 1kW; Typical - 860rpm, 2kW; Heavy-1150rpm, 3.5kW, Average idling duration: 6hrs/day, Market idles: 15-20% <2hrs/day, 60-70% 2-10hrs/day, 15-20% >10hrs/day)

(출처: 2003 Hydrogen and Fuel Cells Merit Review Meeting, Berkeley, CA, Tiax LLC, 2003, May 19-22)

Table 2. SOFC APU 장착 Truck의 연료소비량과 평균 효율

Accessory load(engine speed)	Idling engine		SOFC APU(without idling)	
	Diesel consumption(gal/hr)	Average Efficiency(%)	Diesel consumption(gal/hr)	Average Efficiency(%)
Typical(600 rpm)	0.53	10	0.14(0.10-0.16)	32(26-38)
Typical(900 rpm)	0.95	9	0.14(0.10-0.16)	32(26-38)
High(1200 rpm)	1.25	10	0.17(0.14-0.21)	33(26-39)

(Note: Idling efficiency measured at engine, Typical accessory cycle: average 2kW, max 3.7kW; High load: average 2.7kW, max 4.7kW; ()'s denote 20% error bars in efficiency curve)

(출처: C.J. Brodrick, Institute of Transportation Studies, University of California at Davis, May 17-19, 2004)

개발이 이루어지고 있다. 대표적인 문제점으로는 APU 용 PEFC 스택과 개질기가 매우 상이한 온도에서 운전되고, 복잡한 단계의 개질 시스템으로 구성되어 있어서 각 단계마다 열적인 정상상태를 필수적으로 유지시켜줘야 한다는 것 등이다.

위와 같은 문제점을 극복하고자 SOFC APU 발전시스템 개발이 활발히 이루어지고 있다. APU 용 SOFC 발전시스템은 기존의 엔진을 사용한 경우(10-17% (12V), 14-22% (24V))보다 발전 효율이 높다(35-50%). 즉 APU 용 SOFC 발전시스템은 기존의 엔진을 이용할 경우 보다 2배 이상의 발전 효율로 운전될 수 있다(Fig. 1). 그리고 다양한 탄화수소 연료 (가솔린, 천연가스, 디젤)를 이용할 수 있고 연료극에서 내부 개질이 가능하고 또한 연료인 수소에 CO가 함유되어도 되며 황과 같은 연료 불순물에 대한 허용도가 높은 장점이 있다. 그리고 백금과 같은 고가의 귀금속 촉매를 사용하지 않고 개질기 기술이 상대적으로 간단하며, 연료와 공기의 가습이 필요 없으므로 물관리가 용이하다.

이러한 APU SOFC 발전 시스템은 수송 및 비수송 분야에 커다란 시장 분야를 갖고 있다. 수송 분야의 경우, 핵심 적용분야는 대형 트럭 및 비행기 같은 대형 승객수송 설비이다. 또한 운송용 APU 시스템은 다른 상업용 (지게차, 트랙터, 냉동차 등) 및 여가용 운송설비 (캠핑 자동차)에도 사용될 수 있다.

Table 1은 Long-haul Truck Sleeper Cab에 4kW SOFC APU를 사용한 경우에 얻어지는 연료 절약량과 유해물질 방출량을 나타낸 것이다. Table에 나타난 바와 같이 SOFC APU를 사용하면 연료는 약 78-81%가 절약되고 유해물질 방출은 99% 이상 낮아지는 것을 알 수 있다.

Table 2는 SOFC APU를 트럭에 장착한 경우에 연료 소비량과 평균효율을 나타낸 것이다. 이 Table에 따르면 SOFC APU를 사용함으로써 74-86%의 공회전 연료 절감이 이루어지고, 트럭용 전체 에너지에 대하여 3-8%의 연료를 절감할 수 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 APU용 SOFC는 연료와 환경에 대한 큰 장점이 있으나 대부분의 구성요소들이 세라믹과 고온 금속소재로 구성되어 있고, 고온에서 운전되는 전기화학적 신발전 기술이기 때문에 전극, 전해질, 연결재 등의 구성요소 및 전지의 설계요소와 관련되어 극복하여야만 하는 여러 가지 기술적인 문제점을 갖고 있다. 더욱이 실용화를 앞당기기 위해서는 저가의 제조공정 기술이 개발되어야 할 것으로 판단된다. 그리고 전극과 전해질로 구성된 구성소재 제조공정기술과 단위전지 및 스택 기술들은 극한 환경조건에서 내구성과 장기 안정성을 결정하는 핵심기술이다.

2.2 APU용 SOFC 발전 시스템의 구성

APU용 SOFC 발전시스템의 주요 구성 요소는 SOFC

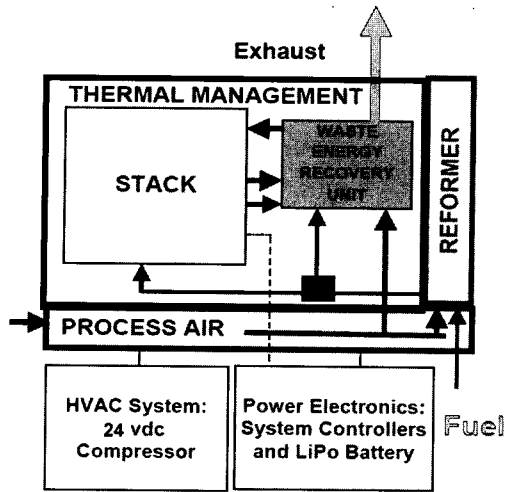


Fig. 2. SOFC APU 시스템의 구성도

스택 시스템, 연료개질기 시스템과 BOP(Balance of Plant)으로 구성된다. BOP는 공기 공급설비, 열관리 설비, 폐열 회수설비, 전력변환 및 SOFC 제어 시스템과 HVAC(heating, ventilation, air conditioning) 시스템으로 구성되며(Fig. 2), 발전시스템의 출력은 연료전지 스택의 특성에 크게 의존하므로, 스택 기술이 APU용 SOFC 발전 시스템의 핵심기술에 해당된다.

연료전지 발전시스템의 심장부인 발전기에 해당되는 연료전지 스택은 가격측면에서도 시스템에서 차지하는 비중이 약 30% 이상으로 평가되고 있으므로 APU용 SOFC 발전시스템의 실용화를 위해서는 스택의 핵심기술, 시스템의 핵심 요소기술이 반드시 개발되어야 한다.

참고로 Fig. 3은 Delphi사의 SOFC APU 시스템을 나타낸 것으로 이것은 연료전지 스택, 연료 개질기, 공기 Blower, 공기 열교환기, 출력부, 전력 변환기, 시스템 제

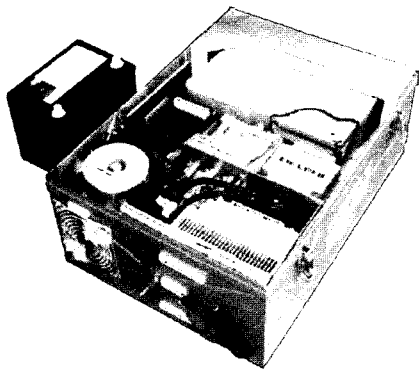


Fig. 3. Delphi Next Generation SOFC APU 시스템.

어기, 단열부 등으로 구성되어 있다.

2.3 APU용 SOFC 발전기술의 국내외 현황

2.3.1 국내 현황

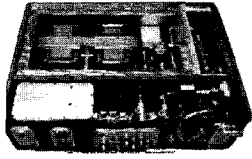
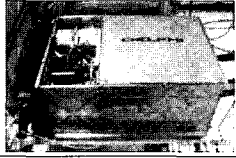

국내에서는 아직 본격적인 APU용 SOFC 기술 개발이 이루어지지 않았다. APU용 시스템에 적용이 가능한 SOFC 기술분야의 개발 현황을 요약하면 다음과 같다. 국내에서는 쌍용연구소 주관(KIST, KIER, 서울대, 인하대 참여)으로 80W급 스택을 개발(1994-1997)한 것이 최초이다. KIER에서는 원통형 셀 및 84W 스택(2001)과 평판형 100W 스택을 개발하였다(1999). 현재 5kW급 SOFC-Micro 가스터빈 복합 시스템 개발 연구를 수행하고 있으며, 최근에는 독일 Research Centre Jülich 연구소와 공동으로 8kW급 SOFC 시스템을 개발하고 이를 가스터빈 복합 시스템에 적용하는 연구를 진행중이다(2004). 전력연구원에서는 평판형 100W 스택을 개발하고 현재 1kW급 가정용 SOFC 시스템을 개발하고 있다. 그리고 KIST에서는 300W급 스택을 개발하고 현재 kW급 SOFC 스택을 개발중이다.

2.3.2 국외 현황

미국에서는 "VISION 21" 프로그램으로 SOFC 복합발전시스템 개발(최대 20MW급)을 진행중이고 220kW SOFC-가스터빈 복합발전시스템을 개발하여 이를 MW급 복합발전소 개발에 적용하고 있다. 그리고 미국 에너지성(DOE)에서는 저가 SOFC 개발을 위하여 2000년부터 SECA(SOFC 개발연합) 프로그램에 10년간 5억불을 지원하고 있으며, MW급 SOFC 시스템과 kW급 주택용 발전 시스템의 실용화를 위하여 국가기관과 대학 등이 공동으로 참여하고 있다.

일본에서는 1980년대 초 Moon Light 프로그램으로 개발을 시작하여 현재 NEDO 주도로 New Sunshine 프로그램을 추진 중이다. TOTO사에서는 1998년부터 원통형 SOFC를 개발하여 현재 100kW급 시스템을 개발 중이며, 미쯔비시사에서도 100kW급 SOFC 개발을 진행하고 있다. 그리고 미국 지멘스-웨스팅하우스사 대형 시스템의 아시아 판권을 확보하여 시스템 개발에 착수하

Table 3. Delphi사의 SOFC APU 개발 프로그램

Generation	System	Picture
Generation 1	Proof of Concept(155L, 204kg) 가솔린 연료 사용 최초 시험(2000. 12)	
Generation 2	최초 시스템 시험(60L, 70kg) 2×15 cell 스택 (2003년) (1.39kW@21V, 750°C, 6L, 20kg) 30 cell 스택(2004년) (0.98kW@22V, 750°C, 3.5L, 13kg)	
Generation 3	2005년 후반에 Prototype 제작 예정 Gen 3 스택 적용 예정 설계기술 개발중 Anode Tail Gas Recycle(TGR) 개발 중(효율 향상)	

였으며, 캐나다 FCTL사의 주택용 5kW급 극동아시아
관련도 확보하여 실증 연구를 추진중이다.

독일, 프랑스, 이태리 등 유럽의 각국에서는 EU 프로
그램 및 정부 프로그램을 진행하고 있다. 독일의 Research
Centre Jülich는 2002년에 5kW급 스택을 개발하고 현재
20kW 시스템을 개발하고 있다. 스위스의 Sulzer Hexis
사는 1kW 가정용 SOFC 시스템 상용화를 위하여 실증
시스템을 공급하고 있다. 그 외 덴마크, 노르웨이, 네덜
란드 등에서도 스택 기술 개발과 대형 시스템 실증 기술
을 개발하고 있다. 그리고 호주의 CFCL는 25kW 스택
을 시험 중이며, 100kW 시스템을 개발하고 있다. 또한
독일을 중심으로 유럽연합에서는 1MW급 SOFC 복합
발전 시스템 개발을 위한 준비를 하고 있다.

APU용 SOFC 기술 개발은 미국과 일본 그리고 독일
등에서 활발히 이루어지고 있다.

미국의 General Dynamics C4 Systems사는 Acumentrics
사의 5kW SOFC 스택을 이용하여 열관리 시스템, 전력
변환 및 제어 시스템을 설치한 APU 발전시스템을 개발
하였다. Acumentrics사의 5kW SOFC 스택은 연료극 지
지식 셀을 사용하는 것으로 알려져 있다. 이 시스템은 실
험용 트럭의 후미에 설치하여 APU용으로 42V 배터리
시스템을 연속적으로 충전시키도록 하였다. 이 연구 개발
은 "21st Century Truck" 프로그램으로 진행되었으며,
여기에는 미국 육군, 에너지 및 교통성, 환경청 그리고

미국 트럭 연합체가 참여하였다.

미국의 Delphi사는 BMW사와 공동으로 5kW SOFC
APU로 42V 배터리를 충전시키는 시스템을 개발하고
있으며, SOFC 스택은 Global Thermoelectric사에서 개
발한다. 이 프로그램은 1999년부터 시작되어 현재 2단
계 시스템을 개발하여 시험을 하고 있으며 2003년에는
Renault사도 공동 참여하기 시작하였다. Table 3에는
Delphi사의 SOFC APU 개발 프로그램을 개발 단계, 개
발 시스템 사양 및 시제품을 나타낸 것이다.

미국의 Ford Motor사도 Northwestern 대학, Functional
Coating Technology사와 공동으로 Iso-Octane를 직접 사
용하는 APU용 SOFC를 개발하고 있는 결과를 발표하
였다(2003년 미국전기화학회 204차 미팅, 초록 1107).

SOFC APU용 연료개질기 기술 분야에서는 National
Energy Technology Lab.이 Argonne National Lab(ANL)
및 Los Alamos National Lab(LANL)과 공동으로
(Autothermal reformer, ATR) 기술을 개발하고 있으며,
ANL은 실험용 개질기를 제작하여 성능 평가하고 LANL
은 카본 비활성화 기술을 개발하고 있다.

독일의 Research Centre Jülich(FZJ)는 BMW사와 공
동으로 APU용 SOFC를 개발하고 있다. 여기에 사용되
는 스택은 카세트형의 박편 매니폴드에 연료극 지지체
식 MEA를 설치하는 구조로 이루어져있다. 이는 열충격
저항성과 급속 가동을 위하여 설계한 것이다. 또한 FZJ

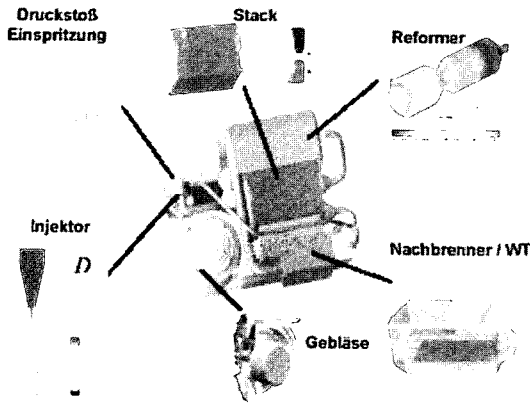


Fig. 4. Webasto Thermosysteme GmbH사의 APU alpha system.

에서는 개질기 기술도 개발하고 있다.

독일의 항공우주연구소(DLR)는 플라즈마 코팅 등의 방법으로 셀 구성품을 제작하여 급속기동 가능한 SOFC APU 시스템을 개발하고 있다.

독일의 Webasto Thermosysteme GmbH와 H.C. Stark GmbH사는 2003년 9월에 APU용 SOFC 스택 개발을 시작하였으며, 여기에는 또한 Fraunhofer IKTS 연구소도 참여하고 있다. 개발이 이루어지고 있는 APU alpha system은 크게 SOFC 스택, 개질기, 인젝터, Mixer/Vaporizer 그리고 버너/열교환기로 구성되어 있으며(Fig. 4), 이들 기술을 개발하여 초기에는 트럭에 적용하고 차후 보트와 승용차에 적용한다는 상용화 전략을 세우고 있다.

2.4 APU용 SOFC 발전기술의 시장 규모

APU용 SOFC 발전시스템의 세계시장 규모는 Fig. 5에 나타난 것처럼 5kW APU인 경우 kW 당 시스템 비

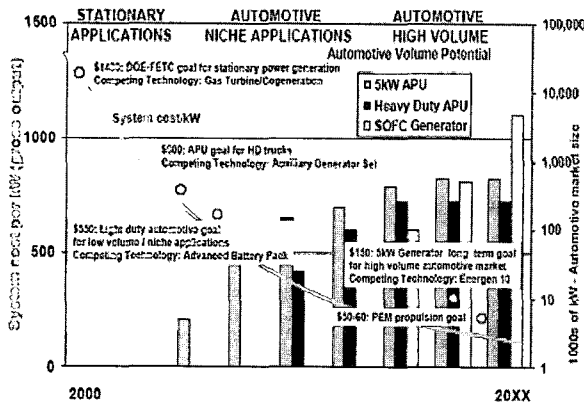


Fig. 5. kW당 APU 시스템의 가격 (미국, DOE, 1999).

용이 2010년 2000불에서 2050년경에는 800불이 될 것으로 예측하고 있다 (미국, DOE, 1999). 일본의 경우 장기 전원계획에서는 2050년까지 5kW APU인 경우 kW 당 시스템 비용이 600불 정도라고 예측하고 있다(Fig. 5).

차후 SOFC가 실용화될 경우 kW당 가격이 1300-1500불이 되면 디젤, 가스터빈 등 기존의 발전시스템과 경제적인 면에서 경쟁성을 확보할 수 있을 것으로 예측된다. 현재의 기술 개발속도로 보아 2010년 이내에는, kW급 APU용 SOFC 발전시스템, 가정용 kW급 SOFC 시스템, 중대형 수백 kW급 SOFC 발전시스템이 실용화될 것으로 예측된다. 특히 APU용 SOFC 발전시스템의 경우 kW급 규모만 되어도 상용으로 사용이 가능하며, 기술 개발 단계별로 얻어진 제품을 상용화하면서 대형 시스템을 향한 연구개발이 진행될 수 있는 기술이다.

3. 마이크로 튜브형 SOFC 셀

SOFC 기술 분야에서는 기존의 중대형, 가정용 적용 분야 외에 소형 휴대용 및 이동용 전원으로 마이크로 SOFC 기술이 최근 여러 기관에서 개발되고 있으며, 사용되는 연료도 휴대용 및 이동용에 적합한 부탄가스, 디젤, 알코올 등을 사용한다. 마이크로 SOFC 기술은 주로 마이크로 튜브셀을 이용한 SOFC 전원개발이 주류를 이루고 있으며, 부분적으로 MEMS 기술 및 박막 코팅공정을 도입한 박막형 SOFC 기술 개발이 진행되고 있다. 여기에서는 APU용 SOFC 발전 시스템 개발 연구에 적용하고 있는 마이크로 튜브셀을 이용한 SOFC의 기술의 특징과 기술개발 현황 등에 대하여 알아보기로 한다.

마이크로 튜브셀은 단위부피당 전력 밀도를 극대화시키기 위해 기존에 사용하고 있는 직경 수십 mm의 원통형 셀의 직경을 수 mm로 감소시킨 것을 말한다. 이 기술은 1994년 영국 버밍엄 대학의 Kendall 교수 등이 처음으로 발표하고 그 후 1996년에 Kilbride 그리고 2000년에 Tompsette 등이 관련 논문을 발표하였다.

이론적으로 마이크로 튜브셀의 전력 밀도 상승은 Fig. 6으로부터 유도된 다음의 식에 의해 쉽게 이해할 수 있다. 즉 원통형 셀의 단위부피당 전력밀도(W/cm^3) = $\pi P / (D+t)$ 로 표현된다(P = 셀의 단위면적당 전력밀도

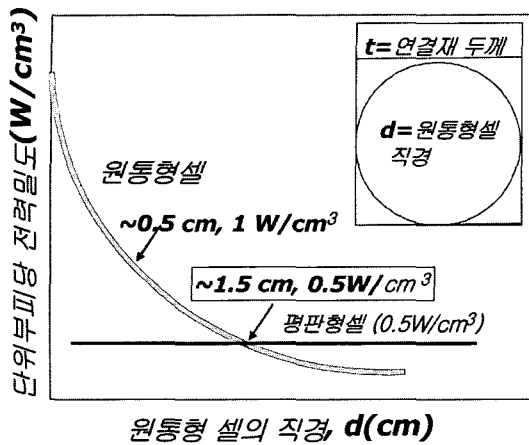


Fig. 6. 원통형 SOFC 셀의 직경에 따른 단위부피당 전력밀도.

(W/cm^2). 이 식에서 $P(=0.3W/cm^2)$ 와 $t(=0.5cm)$ 가 일정할 때, 원통형 셀의 단위부피당 전력밀도는 셀의 직경에 반비례한다. Fig. 6에서 원통형 셀의 직경이 1.5cm일 때 셀의 단위부피당 전력밀도는 약 $0.5W/cm^3$ 정도가 되고 셀의 직경이 0.5cm로 될 때 $1W/cm^3$ 으로 높아지는 것을 알 수 있다. 반면에 평판형의 경우 단위 부피당 전력밀도는 $P/(t+t_{cell})$ 로 나타나며(t_{cell} = 셀의 두께), 연결재의 두께와 단위면적당 전력밀도가 원통형과 같고, 통상적으로 셀의 두께가 0.1cm라고 가정하면, 연료극 지지체식 평판형 셀의 단위 부피당 전력밀도는 $0.5W/cm^3$ 정도가 된다. 이것은 원통형 셀의 직경이 1.5cm일 경우에 해당한다. 원통형 셀의 직경이 더 작아져, 0.5cm일 때는 단위 부피당 전력밀도는 2배가 증가한다. 즉 원통형 셀의 직경을 수 mm로 감소시켰을 때 단위부피당 셀의 전력밀도는 기존의 원통형 및 평판형 셀에 비해 2-3배 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

마이크로 SOFC 셀의 또 다른 특징은 열응력에 대한 저항성이 매우 우수하다는 것이다. 1분 이내 800-1000°C 까지 급속 가열이 가능하여 소형 휴대용, 이동용, 군용 및 가정용 등의 전원으로 사용될 수 있다. 현재 이 분야의 기술은 미국, 캐나다, 영국, 일본 등에서 연구가 진행되고 있다.

마이크로 튜브형 SOFC에는 전해질 자립막식과 연료극 지지체식 튜브셀이 있다. 전해질 자립막식 튜브셀은 두께가 0.1-0.2 mm이고 직경이 2-3 mm인 전해질 튜브의 안쪽에 연료극, 바깥쪽에 공기극을 코팅하여 제조한

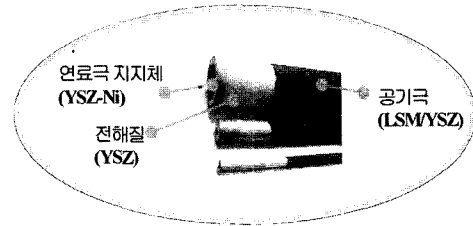


Fig. 7. KIER의 연료극 지지체식 마이크로 SOFC 셀(하단 1개)과 중,대형 셀(상단 2개).

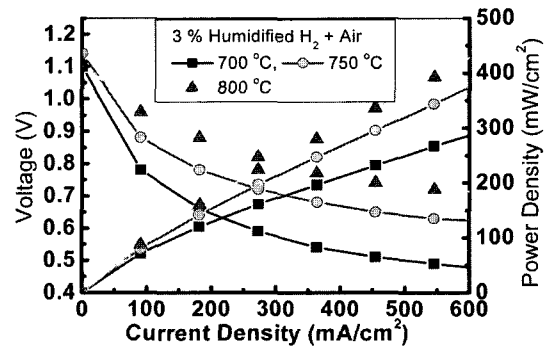


Fig. 8. 마이크로 단전지 셀의 성능곡선(700-800°C, 3% 가습 수소, 공기).

다. 이러한 셀은 열충격 저항성이 매우 뛰어나지만 전해질의 두께가 두꺼워 셀의 성능은 비교적 낮은 편이다.

연료극 지지체식 마이크로 SOFC 셀은 한국에너지기술연구원, 캐나다 Albert Research Council, 미국의 Acumentrics사 등에서 기술이 개발되고 있으며, 직경 수 mm의 연료극 지지체 튜브에 전해질을 10 μm 정도로 얇게 코팅하고 그 위에 공기극을 코팅하기 때문에 셀의 전력밀도는 매우 높은 편이다. 또한 열충격 저항성도 매우 우수하여 수분 내 800-1000°C까지 급속가열이 가능하다.

Fig. 7은 한국에너지기술연구원(KIER)에서 제작한 연료극 지지체식 마이크로 SOFC 셀을 나타낸 것으로 그 램의 하단에 있는 것이 연료극 지지체식 직경 3mm의 마이크로 SOFC 셀이며, 연료극 지지체 위에 약 5 μm 두께의 치밀한 전해질과 공기극 전극을 코팅한 것이다.

Fig. 8은 마이크로 셀로 제작한 단전지를 3% 가습 수소와 공기를 사용하여 700-800°C에서 운전하여 얻은 성능 곡선을 나타낸 것으로, 700°C와 800°C에서 각각 약 300mW/cm²과 420mW/cm²의 최고 출력밀도를 얻을 수 있었다. 현재 이 셀들의 출력을 집전하기 위한 기술을 개선하고 있으며, 집전 기술이 개선되면 더 높은 최고 출력

밀도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

현재 마이크로 튜브를 이용한 소형 스택의 개발 결과들이 여러 기관에서 발표하고 있으나, 아직까지 스택 구성에 관한 내용은 잘 알려져 있지 않다. 특히 스택 구성에 필수적인 전류집전체의 구성 방법은 마이크로 튜브형 SOFC 기술의 실용화를 위해서는 매우 중요한 요소이다.

KIER에서는 연료극 지지체식 마이크로 튜브형 SOFC 셀을 급속 기동이 가능하도록 설계 제작되었다. 이 장치는 연료로 부탄을 사용하고 라이터로 착화하여, 약 1분 뒤에는 400mV~600mV 정도의 전압이 발생하고 회로에 전류가 흐르기 시작한다. 가스의 공급을 멈추면, 셀은 약 2-3분 뒤에 거의 상온까지 자연 냉각된다. 이것은 마이크로 튜브형 SOFC가 급속기동이 가능하다는 것을 충분히 증명하는 것으로 판단된다. 현재 이러한 마이크로 튜브형 SOFC 기술을 적용한 스택의 적층기술을 개발하고 있다.

4. "APU용 SOFC 발전시스템 개발" 과제의 개요

4.1 과제의 개요

- 과제 명: 보조전원(APU)용 고체산화물 연료전지(SOFC) 발전시스템 개발
- 주관기관(수행책임자): 한국에너지기술연구원 (신동열)
- 참여기업(위탁기관): (주)효성, (주)SAC, 한성특수장비(주), 승림카본금속(주), (주)단단, (KAIST)
- 사업기간: 2004. 9. 1~2009. 8. 31 (총 5년) (1단계: 3년, 2단계: 2년)

4.2 기술개발목표 및 단계별 사업내용

- 최종 연구개발 목표
3kW급 APU용 급속 기동형 SOFC 발전 시스템 개발
- 1단계(3년): 1kW급 APU용 급속기동형 SOFC 시스템 개발(시스템 설계 종합, 1kW급 SOFC 스택, APU용 리포머 개발)
- 2단계(2년): 3kW급 APU용 급속기동형 SOFC 발전 시스템 개발(시스템 상용화 기반 확보 및 소형화 기술개발, 스택 개발, 3kW APU

용 리포머 개발

· 단계별 사업내용

1단계 (2004-2007년)	1kW급 APU용 급속기동형 SOFC 발전 시스템 개발 · SOFC 시스템 종합구성, compact화 기술개발 - 스택의 시뮬레이션, 설계/최적화 기술개발 - 전체시스템 설계최적화 및 요소기기 개발 - APU용 BOP개발 · 1kW급 APU용 SOFC 스택 기술개발 - 성능 평가(출력, 기동시간, 작동온도, 열싸이클, 효율) - 스택용 셀 개발(급속기동형 고효율 마이크로 튜브 셀) - 마이크로 튜브 셀 스택의 bundle 기술 개발 · APU SOFC 운전용 디젤 리포머 개발 - 성능 평가(용량, 1kW급, 기동시간, 전환율 등)
2단계 (2007-2009년)	3kW급 APU용 급속기동형 SOFC 발전 시스템 개발 · APU용 급속기동 시스템 종합구성, compact화 기술개발 - 3kW급 스택의 상세 시뮬레이션, 설계/최적화 기술개발 - 전체시스템 설계 최적화 및 요소기기 개발 - APU용 BOP개발 · 3kW급 APU용 SOFC 스택 기술개발 - 성능 평가(출력, 기동시간, 작동온도, 열싸이클, 효율) · SOFC 운전용 디젤 리포머 개발 - 성능 평가(용량, 3kW급, 기동시간, 전환율 등)

4.3 1단계 년차별 기술개발목표 및 사업내용

1kW급 APU용 급속기동형 SOFC 발전시스템 기술 개발

- 시스템 성능 평가(출력, 기동시간, 작동온도, 열싸이클, 효율)
- 전체시스템 설계최적화 및 시스템 통합
- SOFC 운전용 디젤 리포머 개발
(성능 평가(용량: 1kW급, 기동시간, 전환율 등))

	목 표	주요연구내용
1차년도	APU용 급속 기동형 SOFC 스택 및 시스템 핵심 기술 개발	- 급속기동형 스택 설계 및 제작 (250W급) - 마이크로 튜브셀 제조공정기술개발 - 스택 전류집전 및 고집적화 기술개발 - 디젤 연료개질용 촉매 및 디젤 분사시스템 개발 - 운전시스템 기본설계 및 제작기술 개발 - 스택 상세 simulation 및 설계요소 기술개발
2차년도	APU용 급속 기동형 500W급 SOFC 발전 시스템기술 개발	- 급속기동형 스택 제조 및 운전 (500W급) - 마이크로 튜브셀 제조공정기술 확립 - 연료개질용 촉매성능향상 및 기동 시스템 개발 - 운전시스템 최적화 및 요소기기 개발 - 스택 상세 simulation 및 설계 최적화 기술개발
3차년도	1kW급 APU용 급속기동형 SOFC 발전 시스템 기술 개발	- 급속기동형 스택 최적화, 제조 및 운전 (1kW급) - 고강도 마이크로 튜브셀 제조 - 전류집전 및 고집적화 기술 시스템 적용 - 1kW급 디젤 연료개질기 개발 - 시스템 구성 및 운전 종합제어 장치 개발 - 지능형 고장 진단, 최적 제어기술 도출

4.4 참여 연구기관

본 연구에는 한국에너지기술연구원의 4개 연구센터(신연료전지연구센터, 에너지재료연구센터, 신연소시스템 연구센터, 전환공정연구센터), (주)효성, (주)SAC, 한성 특수장비(주), 승림카본금속(주), (주)단단, KAIST가 참여하고 있다.

한국에너지기술연구원의 신연료전지연구센터는 연료 전지 스택 및 종합시스템 운전, 에너지재료연구센터는 시스템 구성 재료 연구, 신연소시스템연구센터는 시스템 설계 및 최적화 기술 연구 그리고 전환공정연구센터는 연료 개질기술 개발 업무를 담당하며, 각 기술 분야의 실용화 기술 개발과 응용을 위하여 관련기술을 확보한 산업체와 대학이 공동으로 참여하고 있다.

5. 결 론

SOFC를 이용한 APU 발전 시스템은 자동차용 전원으로 아주 중요한 위치를 차지하게 될 것으로 예상된다. 이 시스템은 기존의 내연기관에 사용하는 연료를 개질하여 사용함으로써 공해물질 방출이 아주 적고 고효율의 발전이 가능하다. 이러한 기술은 차후 환경친화적이고 더욱 안락하고 안전한 자동차용 전원을 요구하는 소비

자들의 요구를 충족시킬 수 있을 것이다.

본 연구 개발에는 SOFC 기반기술을 확보한 국가출연 연구원과 관련기술을 확보한 산업체를 비롯하여 대학이 공동으로 참여하고 있다. SOFC APU 시스템 기술을 개발하기 위하여 긴밀한 협력연구를 수행하고 또한 각 기관이 담당한 분야의 기술을 개발하여 최종 시스템 종합 구성에 적용할 것이다. 이를 통하여 SOFC APU 발전기술 분야의 국산화 기술을 개발하고 선진국 기술과 경쟁력을 확보하고자 한다.

참고문헌

1. J. Zizelman, SAE Technical Paper Series, SAE 2002, 2002-01-0411.
2. Fuel Cell Today, News letter 28-2003, 2003. 10. 10.
3. TIAX LLC, Progress Report, 21st Century Truck Program, Washington DC, 2003. 1. 14.
4. S.C. Singhal, Solid State Ionics, 152-153, 405-410 (2002).
5. www.delphiautomotive.com/news/pressReleases, 2004. 11. 19.
6. Fuel Cells Bulletin, p.6 January 2003.
7. J. Botti, Delphi, "Powering the Future", 2004 SAE World Congress.
8. D.A. Berry, 2003 NETL Onsite Merit Review, 2003. 5. 19.



신 동 열

- 1972년 고려대학교 전기공학과 졸업(학사)
- 1985년 고려대학교 전기공학과 졸업(박사)
- 1977년 한국에너지기술연구원 책임연구원 ~ 현재
- 1997년 한국에너지기술연구원 대체에너지 연구부장
- 1999년 연구부장
- 1980년 미국 Argonne National Lab.
- 1981년 객원연구원
- 2003년 한국에너지기술연구원 수소·연료 전지 연구부장
- 1988년 미국 Microelectronics Center of North Caroline, MTS
- 1989년
- 1999년 한국전기화학회 연료전지분과 회장
- 2003년



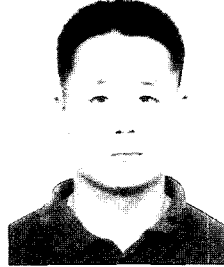
백 동 현

- 1985년 부산대학교 무기재료공학과 졸업(학사)
- 1988년 인하대학교 무기재료공학과 졸업(석사)
- 1996년 독일 RWTH Aachen 공대 에너지재료전공(박사)
- 1992년 독일 Research Centre Julich(FZJ)
- 1996년 객원연구원
- 1997년 한국에너지기술연구원 선임연구원 ~ 현재



송락현

- 1984년 부산대학교 금속재료 공학과 졸업 (학사)
- 1986년 한국과학기술원 재료공학과 졸업 (석사)
- 1989년 한국과학기술원 재료공학과 졸업 (박사)
- 1994년 일본물질공학공업기술연구소
- 1995년 객원연구원
- 1990년 한국에너지기술연구원 책임연구원 ~현재



임탁형

- 1997년 한국과학기술원 화학공학과(학사)
- 1999년 한국과학기술원 생명화학공학과 (석사)
- 2004년 한국과학기술원 생명화학공학과 (박사)
- 2004년 한국에너지기술연구원 선임연구원 ~현재