

고체산화물연료전지 개발 현황

글 _ 김재욱, 황일두, 이준, 김진영
쌍용머티리얼(주) 신소재연구소

1. 서론

연료전지는 연료의 화학에너지를 전기화학반응에 의하여 전기에너지로 직접 변환시킴으로 높은 에너지 변환 효율을 나타낸다. 따라서, 열기관에 대비하여 연료 소비가 적고 오염물질 및 온실가스 배출량을 크게 감소시킬 수 있다. 일반적으로 연료전지는 수소를 연료로 사용하여 작동하는 것으로 알려져 있으나, 고온(600~800°C)에서 작동하는 고체산화물연료전지는 천연가스, 도시가스 등 기존 탄화수소계 연료와 바이오 연료 등 대체 연료를 외부 개질 없이 내부 개질을 통하여 운전할 수 있어서, 수소 기반시설의 구축과 관계없이 상용화가 가능하다. 특히 고체산화물연료전지는 변환효율이 높고, 폐열을 이용한 열병합시스템을 구축할 경우, 80% 이상의 효율을 달성할 수 있어서 차세대 친환경 전기 발전 방식으로 주목을 받고 있다. 또한 고체산화물연료전지는 전력수요에 따라 수W에서부터 수MW까지 광범위한 용량의 발전시스템을 제조하는 것이 가능하여 휴대용, 가정/건물용, 대규모 발전용까지 다양한 응용범위로 제조가 가능한 장점을 가지고 있다.

그러나, 고체산화물연료전지는 고온작동으로 인하여 제조 및 유지비용이 높고, 장기 운전 및 열사이클에 대한 낮은 신뢰성으로 인하여, 장기 내구성을 확보할 수 있는 기술개발이 상용화의 관건이라 할 수 있다.

여기서는 가정/건물용 고체산화물연료전지 분야에서 선두를 달리고 있는 업체를 중심으로 개발 및 시장 동향

에 대하여 살펴보고, 당사의 스택 개발 현황 및 향후 개발 방향에 대하여 소개하고자 한다.

2. 가정/건물용 고체산화물연료전지 개발 동향

2.1. 국외 동향¹⁾

일본은 가정용 연료전지분야에서 가장 활발한 활동을 하고 있으며, 1974년부터 국가개발프로그램으로 고체산화물연료전지 개발을 진행하여, Sunshine 과제 및 Moon Light 과제를 진행하였고, 1993년부터 New Sunshine 프로젝트를 진행하고 있다. 2007년부터 NEDO의 지원 하에 실수요가에 소규모의 고체산화물연료전지 발전시스템을 설치하고 실제 부하환경하에서 운전 데이터의 수집, 기술적 문제점의 파악, 향후 기술개발과제 도출 등을 목적으로 실증연구가 진행되고 있으며, 2007년부터 233개소에 설치하여 운전 중으로, 2010년 9월말 현재, 74개소가 연속 운전 중으로 최대 25,000시간의 운전시간을 기록하고 있다.

일본의 고체산화물연료전지 실증사업은 설치운전사업자로 Osaka Gas 외 8개사, 시스템 메이커로 Gastar Rinnai, Kyocera 등 6개사가 참여하고 있으며, 가정용 열병합시스템의 실증을 주도하고 있는 Osaka Gas의 경우, 2007년부터 2009년까지 20,000시간 이상의 장기 운전을 기록하고 있다. 실증에 적용되고 있는 시스템의 대표적인 사양은 0.7kW급으로 발전효율 45% (LHV), 배열회수효율 40% (LHV)로 저장탱크용량은 90리터이다. 최근

Osaka Gas 및 Kyocera, Toyota, Aisin이 공동 개발한 2010년형 열병합시스템 41대를 설치하여 실증실험을 개시하였으며, 상기 시스템은 연료개질기 및 셀, 스택으로 구성되는 모듈의 단열성 향상, 집전재의 개량, 탈황제의 개선 등을 통하여 내구성 향상과 저장탱크 용량 변경을 통하여 코스트 저감과 함께 CO₂ 배출량의 감소를 꾀하고 있다.

그 외에도 TOTO가 2007년에 2kW 시스템의 필드테스트를 실시하여 발전효율 45% (LHV)와 5,000시간의 연속운전을 실현하였고, 2010년 상반기에 0.7kW 시스템 2대의 테스트와 함께 고체산화물연료전지의 양산을 위한 투자를 예정하고 있다. 또한 NTK는 2009년도 1.3W/cm²의 10*10cm² 면적의 셀과 18셀로 구성되는 1kW급 스택을 개발하였으며, 45%의 발전효율을 실현하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 일본은 NEDO의 지원하에 다수의 설치운전사업자, 시스템메이커 등이 참여하여 고체산화물연료전지의 실증사업을 수행하였으며, 이를 기반으로 JX ENEOS는 2011년 말에 발매를 개시했다.²⁾

호주의 CFCL은 발전효율 60% (LHV) 이상으로 열병합발전 시스템에 적합한 GennexTM 스택모듈을 상용제품으로 개발하였다. 그리고 Gennex를 적용하여 상용제품으로 출시한 BlueGENTM은 최대 1kW의 열출력과 종합효율 85%(전기효율 65%, 실증시간 15,000시간)의 열병합발전시스템으로, 2010년 9월 현재 15개국에 52대의 판매실적을 보이고 있다. 또한 영국의 Ceres Power는 GDC 전해질을 기반으로 한 셀 및 스택을 개발하여 실제 가정에서 테스트를 진행하였으며, Acumentrics(미국)는 전기용량 1kW, 열용량 20kW의 가정용 micro-CHP를 개발하였다. 그 외 Topsoe, STAXERA 등이 스택을 제조하여 판매 중에 있다.

2.2. 국내 개발 현황

국내에서는 한국전력연구원이 2006년에 연료극지형 셀을 기반으로 한 1kW급 중온형 SOFC 발전시스템을 개발하여 가정용 시스템에 대한 BOP 및 운전기술을 확보한 바 있고, 2011년 5kW급 발전시스템을 개발하여 발전효율 35%와 전체 효율 75% 이상을 실현하였다. 한국

에너지기술연구원은 원통형 셀을 기반으로 한 스택 및 소형 BOP를 개발한 바 있으며, 평판형 SOFC 스택 원천 기술 개발을 추진 중에 있다.

포스코에너지가 대면적 셀을 기반으로 건물용 10kW급의 발전시스템을 2013년 출시를 목표로 개발하고 있으며, 경동나비엔과 코미코가 평판형 0.7kW급의 실증연구과제를 진행하고 있다.

대경광역경제권에서는 STX메탈이 BOP를 개발하고 쌍용머티리얼과 한국광유가 평판형 셀을 기반으로 한 스택을 개발하는 과제를 진행하여 왔으며, 2012년부터 시작되는 2단계에서는 STX메탈 주관으로 평판형 1kW급 발전시스템의 실증을 추진할 계획이다.

KIST, 한국세라믹기술원을 중심으로 한 국내 학연기관에서는 셀 제조기술 및 밀봉재 제조기술을 중심으로 한 요소기술개발을 진행하고 있다.

국내 개발 현황은 2.1절에서 간략하게 살펴보았지만, 이미 시범 판매를 실시하고 있는 일본과 비교할 때 많은 기술적 격차가 존재함을 실감할 수 있다. 일본의 경우²⁾, 발전시스템의 제조 및 실증을 통하여 Value Chain의 형성, 50,000시간의 내구성 확보, 경제성 확보(코스트저감 목표 설정)가 이루어지고 있으며, 최근 원전사고를 계기로 요구되고 있는 자립발전이 가능한 발전시스템의 개발도 진행되고 있다.

3. 쌍용머티리얼의 스택 개발 현황

쌍용머티리얼은 파인세라믹 전문회사로 Fig. 1에 나타

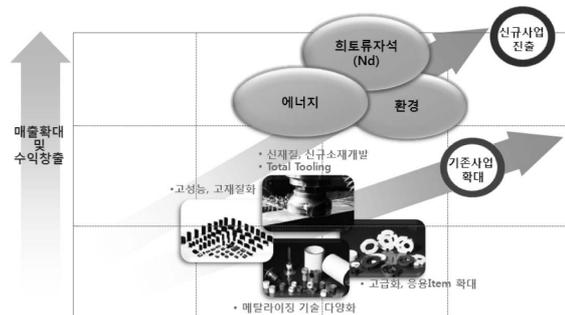


Fig. 1. 쌍용머티리얼의 성장 로드맵.

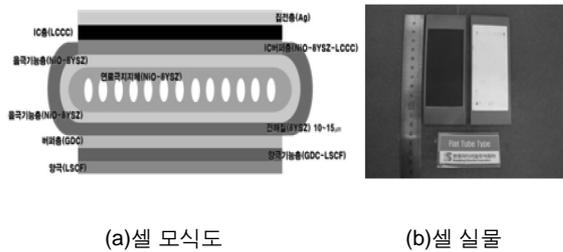


Fig. 2. 평관형 셀 모식도 및 실물.

낸 것 같이 세라믹절삭공구(국내시장점유 1위), 전자레인지용 메탈라이징세라믹(세계일류상품 지정, 세계시장 점유 1위), 수도밸브용 내마모세라믹, 자동차모터용 페라이트자석 등을 주력 생산품으로, 파인세라믹의 양산관리 및 품질관리 능력을 확보하고 있으며, 소재개선 및 품질향상, 원가절감을 통한 기존제품의 증대성능 향상과 전문연구소를 중심으로 신규 분야의 소재 및 제품개발을 진행하고 있다. SiC Whisker계 복합소재를 적용한 절삭공구, 전기자동차 관련 부품, 고성능 회도류 자석, 에너지/환경용 세라믹 등 분야에 주력하고 있으며, 특히 고체산화물연료전지를 중심으로 한 에너지 분야에 역량을 집중하고 있다.

쌍용머티리얼은 2009년 12월부터 2012년 4월까지 대경광역경제권선도산업 지원 하에 주관기관으로 참여하여 평관형 셀 및 스택을 개발하였다.

쌍용머티리얼이 개발한 평관형 셀은 Fig. 2와 같이 연료유로를 가지는 평관 형태의 연료극지지체 상에 전해질

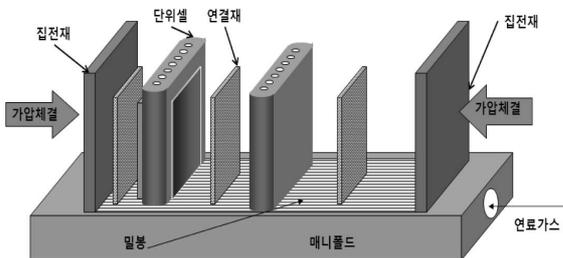


Fig. 4. 스택 모듈 구조

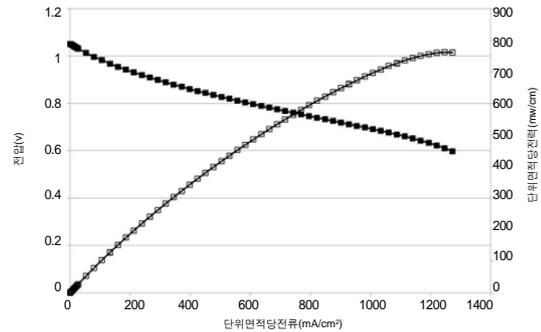


Fig. 3. 평관형 셀의 성능.

이 형성되고 한쪽면에는 전기적 연결을 위한 Interconnector층, 반대면에는 공기극층이 형성된 형태로, 압출공정을 이용한 연료극지지체 제조 및 딥코팅법과 스크린프린팅법 등을 이용하여 전해질층 및 Interconnector층, 공기극층을 형성하는 셀의 제조공정을 개발하였다. 완성된 셀의 성능은 Fig. 3에 나타난 것과 같이 최대 760mW/cm²를 나타내어 기존의 연구결과³⁾와 동등 이상의 성능을 실현하였다.

제조된 셀을 이용한 스택 모듈의 구조를 Fig. 4와 같이 설계하고 2셀, 5셀, 20셀 테스트를 통하여 스택구조 및 스택부품(케이스, 매니폴드, 셀 간 연결재, 집전체 등), 밀봉재의 적용 가능성을 평가하였다. 특히 밀봉재는 평관형의 밀봉에 적합한 유리조성의 개발과 함께 필러와 복합하여 적절한 밀봉재를 개발하였다.

Fig. 5에 5셀 모듈의 사진과 성능평가 결과를 나타내었다. 5셀 모듈은 0.7V/셀에서 350mW/cm²의 성능을 나타내었다. 또한, 개발된 평관형 셀 및 모듈의 장기성능을

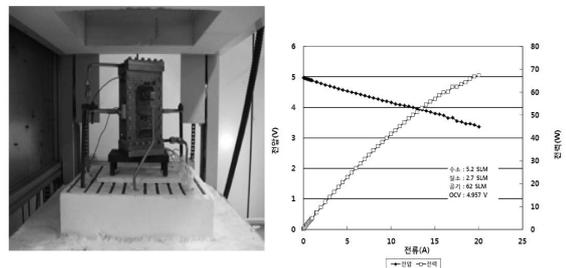


Fig. 5. 5셀 모듈 및 성능평가 결과.

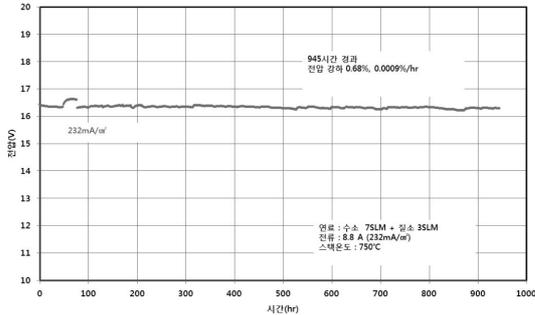


Fig. 6. 20셀 모듈의 장기성능평가 결과.

평가하기 위하여 20셀 모듈을 제작하고 240mA/cm²의 정 전류하에서 전압의 변화를 관찰하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 1,000시간의 유지시키면서 성능저하를 확인한 결과 1% 미만의 성능저하가 일어났다.

이상의 셀 및 모듈의 평가결과를 기본으로 20셀 모듈 8개로 1.2kW 수준의 성능을 발현 가능한 스택을 구성하였으며, 성능 평가 결과 1.2kW 수준의 스택을 실현하였다. 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

이상과 같이 쌍용머티리얼에서 개발한 셀 및 스택의 결과를 나타내었다. 그러나, 실제 상품화를 위해서는 스택부피의 감소, 성능향상 및 내구성 확보, 경제성 확보 등의 과제가 도출되어, 이에 대한 향후 계획에 대해 간략하게 정리하고자 한다.

우선, 스택부피의 감소와 관련하여 셀의 전극면적 확대 및 성능향상을 통한 부피의 감소를 계획하고 있으며, 둘째로, 성능 향상 및 내구성 확보와 관련하여 셀 구성요소별 미세구조 개선 및 유로 개선, 계면 접합성 향상, 고성능 전극재료의 사용에 의한 셀 성능 향상과 셀간 연결재의 전기적 저항 감소를 위한 연결재 개선 및 집전 구조의 개선, 스택 구조 재검토 등을 계획하고 있다. 또한 내구성 확보를 위하여 셀의 열기계적 강도 및 미세구조의 개선과 밀봉재의 열기계적 안정성 확보, 연결재의 내산화성 개선 등의 과제에 대하여 추진할 계획으로 있다.

경제성 확보와 관련하여 일본 JX ENEOS의 경우²⁾, 2011년 현재 0.7kW급 가정용연료전지의 코스트는 200만뽀 전후로, 양산효과에 의하여 우선적으로 100만뽀를 달성하는 것을 목표로 하고 있다. 당사의 경우, 현 수준

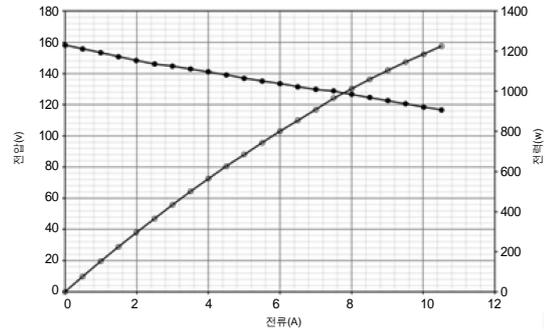


Fig. 7. 1kW급 스택의 성능평가 결과.

에서의 제조원가를 기초로 양산화에 따른 코스트 저감을 위한 계획을 수립할 예정이다.

이러한 과제의 해결과 함께 대경광역경제권 선도산업 2단계 과제에 참여하여, 스택을 공급함으로써 SOFC의 상용화에 기여하고자 한다.

4. 맺음말

이상의 익히 알려진 내용을 간략히 정리하고 당사의 개발 현황을 소개하였다. 이상의 내용에서도 언급하였지만 가정용 고체산화물연료전지분야에서 가장 활발한 개발을 추진하여 상용제품을 출시하고 있는 일본과 비교하여 국내는 소수의 시스템에 대한 실증을 추진하는 단계로 대규모 모니터링까지 감안할 경우, 상당한 격차를 보이고 있으며 그에 따른 Value Chain의 형성도 시급한 실정이다. 이러한 격차를 줄이기 위해서는 고체산화물연료전지에 종사하고 있는 학연산의 협조 및 체계적인 프로그램의 지원이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 그린홈 연계형 건물용 SOFC 시스템 개발 및 실증 연구기획 보고서, 2011.2 지식경제부.
2. Nikkei Electronics, 62~7, (2011.9).
3. 임탁형, 김관형, 박재량, 이승복, 신동열, 송락현, “연료극 지지체식 평판형 고체산화물 연료전지 단위 번들의 제조 및 성능”, 10 [5] 283 (2007).



●● 이준



- 2007년 인하대학교 신소재공학부 학사
- 2009년 인하대학교 세라믹공학과 공학석사
- 현재 쌍용머티리얼(주) 신소재연구소 연구원

●● 황일두



- 1994년 고려대학교 재료공학과 학사
- 1996년 고려대학교 재료공학과 석사
- 현재 쌍용머티리얼(주) 신소재연구소 책임 연구원

●● 김재욱



- 1986년 서울대학교 무기재료공학과 학사, 석사
- 1996년 동경공업대학교 무기재료공학과 박사
- 현재 쌍용머티리얼(주) 신소재연구소 개발 팀장

●● 김진영



- 1983년 서울대학교 무기재료공학과 학사, 석사
- 1991년 Nagaoka 기술과학대학 재료공학과 박사
- 현재 쌍용머티리얼(주) 대구공장장 / 신소재연구소장