

고체산화물 연료전지(SOFC) 핵심 소재 및 단전지 연구 개발

글 _ 최성호, 박원순
(주) 코미코 SOFC팀

1. 코미코의 기술적 배경

코미코는 반도체 제조장비에 사용되는 고가 세라믹 소모성 부품에 대한 세정 및 재생기술을 기반으로 1996년 설립되었으며, 기술연구소를 중심으로 각종 기능성 코팅 및 세라믹 부품의 제조 기반기술을 확보하는 등 반도체 제조 공정에 대한 세라믹 부품 솔루션을 제공하는 세계적인 회사로 성장해오고 있다.

세라믹의 유전특성을 이용하여 웨이퍼를 고정시키는 장치인 정전척 (Electrostatic Chuck), 웨이퍼상의 온도 균일성을 최적화해 박막의 두께를 정밀하게 제어하는데 핵심적 부품인 질화알루미늄 (AlN) 히터 등은 세라믹 제조기술 및 정밀 코팅등의 고도 기술이 집적된 고정밀 세라믹 기능성 부품으로 현재 국내 최고의 점유율을 확보하고 있다. 기타 전통적인 알루미늄 (Al₂O₃), 질화알루미늄, 이트리아(Y₂O₃)의 소재를 바탕으로 제조된 고강도 내플라즈마성 부품들도 당사의 주요 품목으로 자리매김하고 있다. 내플라즈마성 부여 및 파티클 저감을 목적으로 적용되는 각종 코팅으로 플라즈마 스프레이 코팅, 아노다이징, 용사코팅 등 다양한 기술도 확보하고 있다. 사업다각화 측면에서 개발중인 세라믹 다층기판 (Space Transformer)은 테이프캐스팅 (Tape Casting), 스크린프린팅 (Screen Printing), 패터닝 기술, 도금기술들이 집적되는 부품이며, 국산화를 위한 연구개발과 각종 패키지의 사업화 분야에도 주력하고 있다.

부품 소재산업에 핵심적인 주요 파인 세라믹 대한 다양한 기술을 바탕으로 차세대 청정 에너지원으로써 주목받고 있는 고체산화물 연료전지에 대한 연구개발을 국책 과제를 통해 수행 중이며 더불어 관련 분야의 조기 상용화를 위한 노력도 추진 중에 있다.

■ 부품의 고정밀 세정



■ 특수 세라믹 코팅 및 부품 재생



■ 질화알루미늄 & 이트리아 소재 부품



■ 알루미나 부품 및 각종 플레이트



■ 고정밀 기능성 부품 (정전척, 세라믹 히터)



■ 세라믹 다층기판 (space transformer, 각종 패키지)



2. 고체산화물 연료전지 연구 배경

신재생에너지 중 연료전지는 수소와 산소를 이용하여

전기를 생산하는 친환경 · 고효율 시스템으로, 이 중 고체산화물 연료전지는 고효율, 저공해, 다양한 연료 선택성 등의 장점과 더불어 하이브리드 발전과 분산발전을 가능하게 하는 녹색에너지 기술의 핵심으로 주목 받고 있다.

미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 이미 민간업체가 주축을 이루고 정부의 전략적 지원으로 상용화 체계를 진행하고 있고, 고체산화물 연료전지의 실증 사업 등을 진행하여 경제성 및 장기 신뢰성에 대한 기술을 축적하고 있는 실정이다. 특히 연료전지 소재 및 부품에 대한 인프라와 연구가 매우 활발히 진행되어 세계적으로 형성되어 있는 소재 부품시장의 점유를 주도하고 있으며 시스템 개발업체 등과 협력관계를 형성해 지속적인 성능 향상 및 가격 경쟁력을 확보하는 방안도 추진되고 있다.

국내의 경우도 관련 연구가 꾸준히 지속되어 오고 있으나 상대적으로 상용화 측면에서 선진국에 뒤쳐져 있는 것이 현실이다. 지금까지 국내 연구의 경우, 시스템 개발 및 연구에 주력하면서 주요 부품에 대한 연구 개발을 병행하여 진행하고 있으나, 아직까지 대부분의 소재는 수입에 의존하고 있으며 국산화된 소재를 이용한 부품은 전무한 실정이다. 하지만 연료전지 시스템 특성상 주요 소재와 부품으로 구성된 스택(Stack) 혹은 번들(Bundle)은 시스템의 성능을 결정짓는 핵심 부분일 뿐만 아니라, 장기적인 관점에서 보면 이러한 소재 및 주요 스택부품의 국산화는 시스템의 경쟁력 및 실용화를 위하여 반드시 확보해야 하는 핵심기술이다.

향후 시스템 모니터링 사업 전개와 상용화 추진으로 소재/부품 시장은 급격한 성장세를 나타낼 것으로 전망되며, 고체산화물 연료전지 사업의 확대에 따른 세라믹 관련 핵심 부품의 기술 확보가 매우 절실한 상황이다. 따라서 부품소재 전문기업 등의 민간기업의 적극적인 참여로 경제성 및 핵심 부품 기술을 확보함은 물론 신재생에너지 산업분야의 신성장동력으로 육성할 필요성이 있다.

이러한 배경을 토대로, 부품소재 전문기업인 코미코는 2008년 지식경제부가 주관하는 신재생에너지기술개발사업 중 초기 상용화를 목적으로 하는 핵심기술개발사업에 “상용화를 위한 SOFC용 핵심 소재 및 고성능 단전지

양산 기술 개발”을 목표로 국책과제를 수행해 오고 있다. 연구개발의 목적은 세라믹 소재/부품 제조 기술의 노하우를 바탕으로 고체산화물 연료전지의 핵심 소재의 국산화 및 양산기술 확보, 평판형 대면적 단전지 (Planar Cell), 마이크로 튜브형 단전지 (Micro-tubular Cell), 연료 채널 일체형 단전지 (Fuel Channel Integrated Planar Cell) 제조 기술의 국산화와 양산 기술을 확보하는 데 있으며, 이를 기반으로 부품 소재 기술에 취약한 국내 고체산화물 연료전지의 조기 실용화 및 핵심 소재/부품 해외 의존도 탈피에 기여하고, 해외시장 진출을 통한 수출 확대 및 기술협력 체계의 형성으로 관련 분야의 사업화를 추진하는 것이다.

3. 연구개발 추진 현황

본사에서 추진하는 고체산화물 연료전지 연구개발은 기초기술 위주의 기술개발을 지양하고 상용화를 목표로 현재 널리 사용되고 있는 소재 및 단전지의 제조를 위한 양산기술 확보에 주력하는 것이다. 단전지의 성능 및 안정성 확보에 핵심이 되는 주요 소재 (양극, 음극, 전해질) 국산화 제조기술 개발, 입도 제어 기술 개발, 전극 미세 구조 제어 기술 개발을 확보하고 이를 토대로 대면적 평판형 단전지, 마이크로 튜브형 단전지, 연료채널 일체형 단전지의 제조기술 및 성능, 장기 안정성 확보를 최종 목표로 진행하고 있다.

1차년도에는 단전지 제조 기초 공정기술 확보를 위하여 소면적 단전지를 통한 전지 특성 분석과 주요 소재 제조 기초 기술 개발에 주력하여 기술적 난제에 대한 해결 방안 모색하고, 2차년도부터 단전지의 성능향상, 공정기술의 안정화를 진행하면서 장기신뢰성에 대한 테스트를 병행하는 것이다. 3차년도에는 양산을 위한 안정된 공정 기술을 확보하고 장기신뢰성 향상을 위한 기술튜닝 등을 통해 주요 소재의 국산화 및 이를 바탕으로 한 국산 단전지의 양산기술 확보를 진행할 예정이다.

핵심소재 개발의 경우, 상용측면에서 가장 사용이 활발한 재료인 LSM(LaSrMnO₃), NiO, YSZ (Y₂O₃ stabilized ZrO₂) 등의 양극, 음극, 전해질 소재의 국산화 기술

확보를 중심으로 하는 연구를 진행하고 있으며, 원가 경쟁력 있는 원재료 분말의 합성 방법, 표면 및 입도 제어를 위한 공정 조건 분석, 분말의 최적 분산 조건 개발을 통해 성능향상을 위한 연구를 진행하고 있다. 각 소재를 이용한 페이스트 제조기술, 테이프 캐스팅 시트 제조기술을 기 확보하여 현재 연구에 활용 중이며, 개발된 전극 소재(LSM, NiO)의 경우는 단전지 제조의 구성 성분으로 안정된 성능을 보여주고 있다.

평판형 대면적 단전지는 단전지 형태 중 가장 높은 단위 전력밀도를 얻을 수 있어 일반적으로 많이 채용되는 형태이다. 이러한 특성 때문에 고전력 시스템에 적극적으로 활용되고 있으며, 단전지당 높은 출력 및 스택킹 수의 저감을 위한 대면적화 기술이 중요한 기술적 이슈이다. 본 과제의 최종목표인 20×20cm² 면적의 제조 기술을 이미 확보를 하였으며, 2011년도에는 수율 안정화, 성능의 향상, 안정성 확보를 위한 각종 테스트 등을 진행할 예정이다. 아울러 스택의 부피 저감, 재료비 원가 절감을 위해 필수적인 단전지의 두께 감소를 위한 개발도 병행하여, 10×10cm² 면적에서 500um 이하의 두께를 실현하는데 성공하였으며 현재 더 낮은 두께의 단전지 개발과 대면적 단전지에 적용을 진행 중에 있다. 이러한 기술이 확보되면 단전지의 국산화에 따른 경쟁력 강화, 시스템 연구 개발의 가속화뿐만 아니라 시스템 소형화에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

마이크로 튜브형 단전지는 고체산화물 연료전지의 최

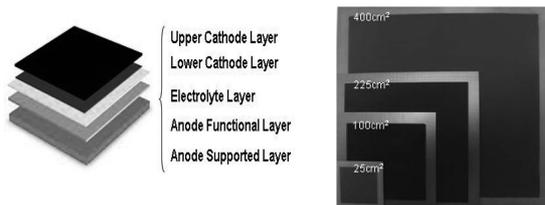
대 단점인 열충격에 대한 취약성을 극복할 수 있는 형태의 단전지라는 점에서 주목 받고 있으며, 일본이나 미국에서는 이러한 장점을 토대로, 가정용 시스템이나 이동형 충전시스템의 적용이 활발한 단전지이다. 튜브형이라는 형태 때문에 테이프 캐스팅 등의 후막 기술이 아닌 압출 및 코팅 기술을 적용하여 제조된다. 또한 다른 공정에 비해 양산성이 뛰어나며, 공정단가를 줄일 수 있는 장점이 있다. 현재까지 튜브 압출 공정을 확보를 위한 유기물과 분말 구성성분의 최적화 및 압출 조건에 대한 연구, 높은 밀도의 전해질 코팅, 기공성이 확보되는 양극의 코팅 개발, 수율 향상을 위한 연구를 진행해 오고 있다. 이를 바탕으로 지름 3mm 이하의 마이크로 튜브 제조 기술을 확보하였으며, 공정의 최적화 및 성능향상을 위한 미세구조 제어 등에 대한 연구를 진행 중에 있다.

연료채널 일체형 단전지의 경우는 생소한 개념이나, 일본이 주도적으로 개발하고 있는 연료채널이 단전지 내부에 존재하는 단전지의 통칭의 개념으로 이해할 수 있다. 실링이 용이하고 단위 체적당 높은 성능을 구현할 수 있다는 점에서 주목 받고 있으며, 넓은 의미에서 평판형 단전지로 분류될 수 있을 것이다. 단전지 제조에 있어 독자적인 구조를 구현하여 시스템에 적용하는 것은 향후 예상되는 치열한 시스템 경쟁체제에서 기술적인 경쟁력을 확보할 수 있다는 점에서 주목해야 할 부분으로 판단된다. 이에 코미코는 평판형 구조를 기본으로 하되 전통

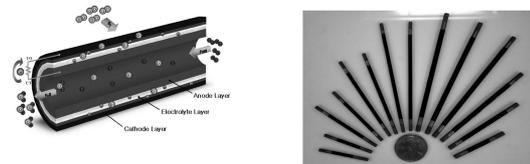
■ 제조된 핵심 소재 및 페이스트



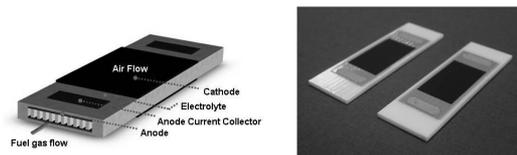
■ 평판형 단전지 (Planar Cell)



■ 마이크로튜브형 단전지 (Micro-tubular Cell)



■ 연료채널 일체형 단전지 (Fuel Channel Integrated Planar Cell)



적으로 활용되는 압출과 코팅 방식의 제조가 아닌 평판형 단전지 제조에 주로 활용되는 테이프 캐스팅 및 적층 기술을 활용하여 연료채널을 포함하는 단전지의 제조 기술을 확보하는 연구를 진행해 오고 있다. 현재까지 확보된 기술로 제조된 단전지는 5×1.5cm의 크기로 두께는 연료채널을 포함하여 약 0.9mm로 매우 얇은 두께의 단전지를 얻고 있다. 단위 체적당 단전지 성능은 약 2W/cm²으로 높은 값을 보여주고 있으며 두께가 얇고 형태가 평판형으로 향후 스택킹시에 체적당 높은 전력이 예상되며 컴팩한 시스템 개발에 사용이 기대된다.

4. 맺음말

새로운 친환경 에너지의 개발은 시대적인 요구사항이 됨에 따라 연료전지 시스템 개발에 대한 개발의 필요성이 중요해지고 있다. 특히 전기 변환 효율이 높고, 연료의 다양성이 확보되는 고체산화물 연료전지(SOFC)의 장점은 청정에너지의 조기 상용화라는 관점에서 주목되는 기술이다. 연료전지 시스템의 국산화 및 조기 상용화는 친환경 에너지의 확보뿐 아니라 관련 산업의 육성 및 발전이라는 측면에서 매우 중요하다.

이러한 연료전지 시스템 국산화 및 상용화 달성을 위한 관련 부품/소재 국산화 및 기술 경쟁력은 향후 연료전지 시스템 시장에서의 주도적인 역할을 하는데 핵심적인 기술이 될 것으로 판단된다. 이는 연료전지 시스템의 경우, 부품과 소재의 집합(Integration)으로 구성되며, 다른 시스템과 달리 전기를 생산하는 스택(번들)의 역할이 시스템의 성능을 좌우하기 때문이다. 특히 시스템 내에서 기술적 배경이 전혀 상이한 스택(번들)을 구성하는 단전지 소재 등에 대한 기술 확보는 관련 분야 전문 기업의 참여가 중요하고 시스템 관련 업체와의 협력이 불확실한 고위험도의 시장 개척, 시행착오 저감을 통한 조기 상용화, 향후 시스템의 지속적인 성능향상이라는 관점에서 중요한 전략으로 판단된다.

이에 코미코는 핵심적인 소재와 부품(단전지)의 국산화 및 양산 기술의 확보를 통해 국내 고체산화물 연료전지 시장 형성 및 경쟁력 강화에 기여할 뿐만 아니라 기형성된 해외 연료전지 선진국 부품 시장에 진입을 목표로 기술 개발을 지속적으로 진행해 나갈 예정이다.

●● 최성호



- 1997 울산대학교 재료공학과 학사
- 1999 울산대학교 재료공학과 석사
- 2007 미국 Georgia Institute of Technology, Materials Science&Engineering, Ph. D.
- 1999 ~ 현재 (주)코미코 제직, 부장
- 2008 ~ 현재 (주)코미코 기술연구소 SOFC팀, 팀장

●● 박원순



- 1996 순천향대학교 화학과 학사
- 1998 단국대학교 화학과 석사
- 1997.11~ 98.08 한화그룹중합연구소 신소재 연구센터 근무
- 1999.5 ~ 공주대학교 생산기술연구소 근무
- 1999.11 ~ 현재 (주)코미코 제직, 차장
- 2008 ~ 현재 (주)코미코 기술연구소 SOFC팀