

* 세그먼트 SOFC 기술 · 제품의 개요

○ 고체산화물연료전지(SOFC)는 고체상의 세라믹을 전해질로 사용하여 600℃~1000℃의 고온에서 연료(H₂, CO)와 산소(공기)의 전기화학반응에 의해 전기를 생산하므로 현존하는 발전기술중 가장 발전효율이 높고, 다음과 같은 특징이 있음.

- 열병합 발전, 고효율 발전 특성
- 사용연료의 다양성
- 타 연료전지에 비해 높은 효율
- 경제성 우수
- 저 소음, 저 공해, 저 CO₂ 발전
- 분산전원, 건물 주택용 전원, 보조전원 등 용도의 다양성

○ SOFC는 전해질, 전극이 고체 상태이기 때문에 여러 가지 형태(평판형, 원통형 등)의 셀로 제조 가능하며, 지지체에 따라서도 연료극, 공기극 및 전해질 지지체로 분류할 수 있음.

○ 평판형 SOFC는 전력밀도 및 생산성이 높고 전해질 박막화가 가능함. 평판형의 단점은 별도의 밀봉재를 이용한 기체밀봉이 요구된다는 점과 고온에서 금속연결재의 사용에 따른 크롬 휘발로 인한 전극효율의 저하문제가 매우 크며, 열 사이클에 대한 저항성이 낮아 신뢰성이 부족한 단점이 있음. 더욱이 대면적 셀의 제조가 어려울 뿐만 아니라, 대용량 스택의 제작도 용이하지 않음. 따라서 이러한 문제 해결이 실용화의 관건임.

○ 원통형 SOFC의 경우 기체 밀봉이 필요 없고 기계적 강도가 우수할 뿐 아니라 많은 시험 항목에서 신뢰성이 검증되었기 때문에, 상용화에 가장 근접한 SOFC 디자인으로 평가받고 있음. 그러나 전류의 이동 경로가 길기 때문에 내부저항이 높고 출력밀도가 낮은 단점이 극복되어야 함. 더욱이 SOFC셀들은 고용량이라는 장점을 지니고 있으나 셀의 집합체인 모듈에서 출력되는 전압이 낮기 때문에 운전 중 전력 변환손실이 크며, 그 결과 효율이 떨어진다는 취약점을 가짐

○ 20 kW급 이상의 발전용 SOFC 시스템은 대부분 원통형 또는 개량 원통형 셀을 사용한 스택을 채택하고 있으며, 20kW급 이하의 경우 평판형 셀도 채택하고 있음.

○ 기존의 발전용 SOFC 셀 형태의 단점을 보완하는 개량 셀 형태 중 가장 장점이

많고 경제성이 우수한 형태로는 기존 단전지 관형 셀을 마디 형으로 여러 개의 셀로 분리 제작한 구조인 세그먼트 관형(Tubular Segment-in-series) SOFC 셀이며 다음과 같은 장점이 있음.

- **고출력화, 고전압화가 가능함:** 단위전지들이 직렬형태로 연결된 모듈이기 때문에 고전압 저전류 출력으로 고효율 발전이 가능함.
- 스택 부피 감소가 가능하여 **시스템 간략화 가능**
- **스택 제조비용 감소** : 지지체로 다공성세라믹(Refractory-grade, (ex) Magnesia/Alumina composition 등)로서 연료극 재료의 1/10 가격)
- 대량생산이 가능한 **저가의 습식 코팅 공정 적용 가능:** 저가의 세라믹 지지체상에 순차적으로 코팅된 연료극, 전해질이 동시 소성이 가능하며, 압출공정에 의한 원통관 제조, 스크린 프린팅, 슬러리 틱코팅 등 저가의 습식 소결공정 적용 가능함.
- **가스 밀봉 문제 극소화:** 원통형 셀의 모서리 부분만 가스 밀봉
- 요소 기술 (지지체, 전해질 및 연결재) 고성능화 가능
- 셀 소자 저가 제조 기술(마스킹, 코팅, 동시 소성, 등) 가능
- 대면적 제조 용이: 원통형 셀 지지체 길이 증대를 통한 대면적화가 용이함.
- 저가의 분리판 소재 사용: 고가의 가스채널 및 가스분리형 금속 분리판이 불필요.

쌓는 형태의 SOFC 기존 스택 Piled-up SOFC units(Example: planar type)	세그먼트 타입의 SOFC 스택 Lined-up SOFC units (Example: segmented in-series type)
<ul style="list-style-type: none"> ● 대 전류 형태(Large electric current) ● 높은 전력밀도(High power density) ● 단순한 스택 구조(Simple cell stack structure) ● 저온 구동 가능(Lower temperature operation is possible.) ● 합금형태의 연결재 사용의 문제점 (Problems of alloy interconnector (if used)) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 고 전압 형태(High voltage) ● 관형 세그먼트일 경우 연료의 밀봉이 용이 (Advantage for sealing fuel (case of tubular type)) ● 복잡한 스택 구조(Complicated cell stack structure) ● 연결재의 성능에 의해 저온 작동 결정됨 (Lower temperature operation is mainly determined by interconnector performance.) ● 지지체가 가격요소에 영향을 미침 (Non-conducting substrate contributes to cost.)

표 1. SOFC 스택의 비교 (출처 : 롤스로이스)

기존의 SOFC 기술

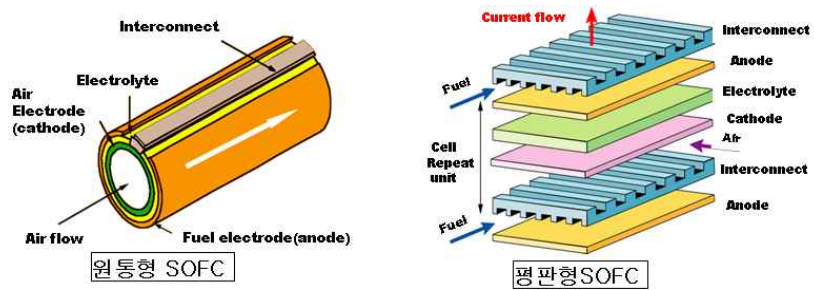


그림 1 . 원통형과 평판형 SOFC 셀

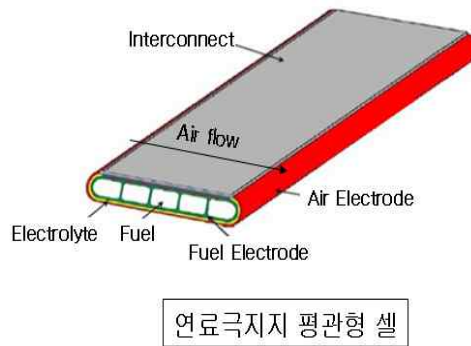


그림 2. 평판형(flat-tubular) SOFC 셀

세그먼트 SOFC 기술 개념도

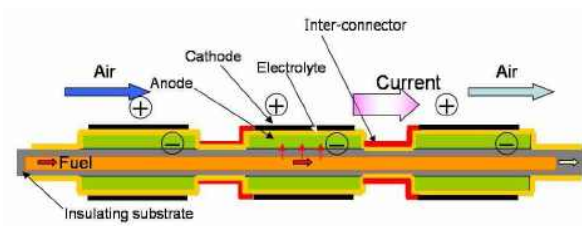


그림 3. 세그먼트 타입의 SOFC 모듈의 개념도(출처 : Tokyo gas)

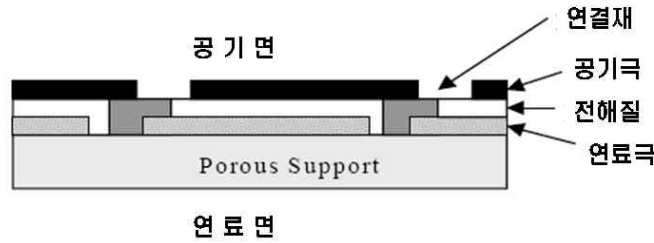


그림 4. 세그먼트 타입 SOFC의 단면(출처 : Rolls-Royce)

○ 세그먼트형(segment-in-series type) SOFC 핵심 기술 개발 이슈

- 고전압 세그먼트 관형 SOFC 셀은 전류의 흐름이 셀 면에 수직 방향이므로 셀의 두께를 얇게 할 경우 셀의 내부 저항을 감소로 고 출력화가 가능함. 또한 지지체의 고강도화로 기동속도 및 열사이클 저항성이 증가됨. 이를 위해 최적 구조 설계 및 제조 기술 개발이 요구됨(표 2 참조).
- SOFC 셀 개발은 최적 셀 구조 설계, 고강도 원통형 지지체, 핵심 구성요소 소재 및 코팅 기술 개발 요구 별도로 소재간의 반응성 및 코팅성, 결합성 등을 고려해야 함.

표 2. 세그먼트 관형 SOFC 개발 이슈

기술명	역할 및 조건	개발 이슈
관형 지지체	<ul style="list-style-type: none"> ● 셀 프레임 및 연료/반응물 유로 ● 다공성, 고강도, 열사이클 우수 (Magnesia/alumina Composition) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 고강도, 박형 다공성 세라믹 지지체 개발 ● 압출공정 개발
저가 셀 제조 공정	<ul style="list-style-type: none"> ● 전극/전해질 습식 코팅공정 ● 소결단계 간소화 	<ul style="list-style-type: none"> ● 지지체/전극/전해질 동시소결 ● 전해질 박막 코팅기술 ● 전극 코팅기술
연결재	<ul style="list-style-type: none"> ● 전극 전류 집전/셀 연결 ● 고전도성, 치밀코팅막, 안정성 	<ul style="list-style-type: none"> ● 고전도성 연결재 소재 ● 치밀한 연결재 코팅기술
고전압 서브 모듈	<ul style="list-style-type: none"> ● 스택용 단위 모듈 ● 패턴 마스크 ● 전류집전/가스밀봉 	<ul style="list-style-type: none"> ● 전류집전 최적화 ● 패턴 마스크 부착/제거 ● 고성능 고전압 서브모듈 설계