

금속 분리판

가. 금속 분리판의 부품 소재의 정의 및 특성

1) 품목 개요

- 분리판은 SOFC 스택 내에서 공기극에 공급되는 공기와 연료극에 공급되는 연료가스를 물리적으로 차단하는 역할(Separator)과 아울러 한 셀의 연료극과 이웃하는 셀의 공기극을 전기적으로 연결하는 역할(Interconnect)을 함.
- 최근 선진국을 중심으로 SOFC의 경제성과 내구성을 향상시키기 위하여 기존의 세라믹 분리판 대신에 Stainless steel계의 금속 분리판을 적용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있음.
- 금속 분리판의 적용 가능성은 전해질 두께의 감소와 전극 성능의 향상 등에 의한 SOFC의 저온(800℃ 이하) 작동화에 의해 점차 높아지고 있음.
- 그러나 기존의 stainless steel로는 SOFC의 요구 조건인 40,000시간의 내구성을 달성하기가 쉽지 않은 것으로 판단되어 신 합금의 개발과 고기능 표면처리 기술의 개발을 통한 특성 향상이 추진되고 있음.
- SOFC에 STS계 금속 분리판의 적용은 분리판 자체 가격의 75%를, 그리고 스택 전체 가격의 45%를 절감하는 효과를 가져 올 것으로 기대하고 있음.
- 이에 따라 SOFC용 금속 분리판의 성공적인 개발은 미래 SOFC의 실용화를 좌우할 가장 중요한 관건으로 인식되고 있음.

2) 연관 산업

가) 구조용 금속제품 제조업

철강재 또는 비철금속재로 건물, 교량, 철탑 및 기타 구조물의 금속 구조재 및 부분품, 조립 금속제품 및 관련 제품, 금속판 제품, 금속 공작물, 금속 조립건물 등과 같은 조립, 설치, 축조될 수 있는 상태의 금속 구조재를 제조하는 산업 활동을 말함.

나) 금속 조립 구조재 제조업

관, 봉, 판 등 각종 금속재료를 가공하여 건물, 교량, 철탑 및 기타 건축물의 축조 또는 설치에 사용되는 조립용 금속 구조재 및 구성 부분품을 생산하는 산업 활동을 말함.

다) 금속탱크, 저장조 및 유사 용기 제조업

중양난방용 보일러 및 라디에이터(방열기), 저장 또는 가공용 장치물로 설치될 수 있는 상태의 금속탱크, 저장조 및 유사 금속용기를 제조하는 산업 활동을 말함. 이러한 용기는 금속 이외의 물질로 된 뚜껑, 덮개, 마개 등이 부착되거나 계측눈금이 그려질 수 있음. 운반용 압축 또는 액화가스용 금속용기를 제조하는 산업 활동도 포함됨.

라) 금속 열처리, 도금 및 기타 처리업

수수료 또는 계약에 의하여 금속 및 금속제품 등의 도금, 표면정리, 전해 표면처리 및 연마, 착색, 조각, 식각, 경화, 열처리, 표피제거, 모래취부, 표면가공, 용접 및 기타 기계공학적 금속처리하는 산업 활동을 말함.

마) 자동차부품 제조업

자동차용 브레이크 조직, 클러치, 축, 기어, 변속기, 휠, 완충기, 방열기, 소음기, 배기관, 운전대 및 운전박스 등과 같은 자동차, 차체 또는 자동차 엔진용 부분품을 제조하는 산업 활동을 말함.

3) 품목 구성

가) SOFC 단위전지 구성도

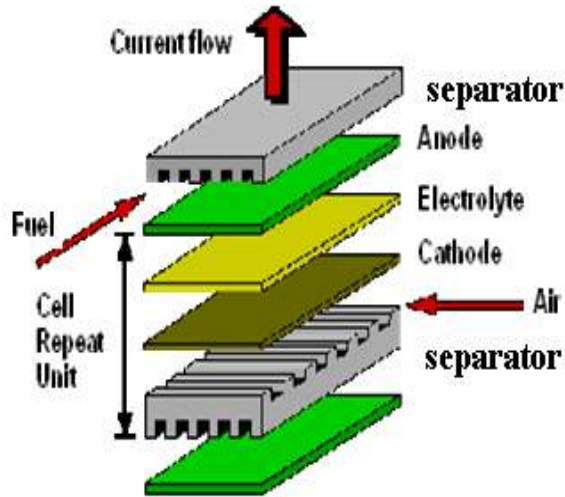


그림. SOFC 단위전지(unit cell) 구성도

나) 분리판 구성도



그림. 분리판 형상 및 조립도(독일, Juelich)

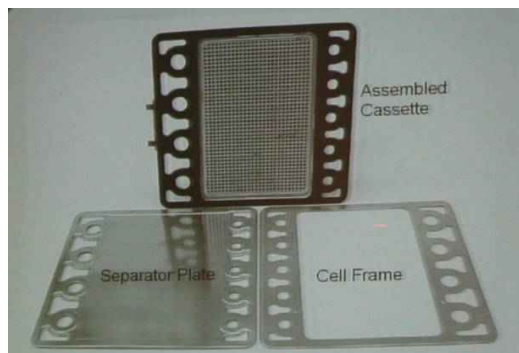


그림. 분리판 구성도(미국, Delphi)

다) 품목의 기능 및 역할

- 분리판(separator plate) : 공기극과 연료극의 가스 흐름을 분리하는 역할
- 전지 프레임(cell frame) : 전해질과 전극으로 구성된 단위전지를 정해진 위치에 안착시키는 역할
- 극판(bipolar plate) : 공기극 및 연료극과 맞닿아 전기를 집전하며, 유로가 설계되어 가스의 흐름을 인도하는 역할
- 끝판(end plate) : 스택의 양 끝단에 부착하여 가스의 누설을 막는 역할

4) 품목의 특성

가) 금속 분리판의 기술적 특성

- SOFC용 분리판으로 적용되기 위해서는 저가, 양산성과 아울러 약 40,000시간의 내구성을 갖추어야 함.
- 전기전도성: 적어도 1Scm^{-1} 이상의 높은 전기 전도도를 가져야 함.
- 열팽창계수 : 분리판의 열팽창계수는 SOFC를 구성하는 전해질이나 전극과 비슷하여야 하는데, 이는 열 cycle 시 발생하는 열응력을 최소화하기 위해서임. 보통 분리판의 열팽창계수는 $10\text{-}12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 의 범위를 가져야 함.
- 산화저항성 : SOFC 가동 환경에서 산소분압은 공기극 측에서 $10^{-4}\text{-}10^{-0.7}\text{atm}$, 연료극 측에서 $10^{-18}\text{-}10^{-8}\text{atm}$ 의 범위를 가짐. 이에 따라 금속 분리판은 고온에서의 산화저항성이 우수해야 하며, 또한 공급되는 가스의 성분에도 따라 황화(Sulfidation), 탄화(Carburization) 반응도 일어날 수 있기 때문에, 분리판은 우수한 내산화성, 내황화성 및 내탄화성 등의 특성을 가져야 함.
- 열전도도 : 분리판의 열전도성은 적어도 $5\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 이상의 값을 가져야 함. 이는 공기극에서 발생한 열을 흡열반응이 일어나는 연료극 쪽으로 용이하게 전달하고 이를 통해 연료의 개질방식을 외부개질에서 내부개질 방식으로 변경이 용이하도록 하기 위함임.
- 저가/양산성 : 경제성 측면에서 분리판 자체의 가격 및 제조비용이 낮아야 하며, 상업적 대량생산을 위해서는 가공도 용이해야 함.
- 기계적 강도 : 분리판은 SOFC 가동온도에서 충분한 고온강도와 크리프 저항성을 가져야 함. 특히 평판형 SOFC의 경우, 분리판은 구조 지지체 역할을 하기 때문에 고온에서 장시간 동안 충분한 기계적 강도를 유지하여야 함.
- 화학적 안정성 : 분리판은 이웃하는 공기극 및 연료극 재료와 고온에서 장시간 접촉하기 때문에, 화학적으로 안정하여야 하고 상호확산 반응이 없어야 함.
- 열화학적 안정성 : Cr을 함유한 재료에서는 SOFC 작동 환경에서 표면에 휘발성의 Cr(VI)이 발생할 수 있음. 휘발성의 Cr(VI) 가스 종들은 공기극 쪽으로 확산하여 $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{s})$ 로 환원하게 되고, 석출된 $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{s})$ 는 전지의 전기화학반응을 방해하여, 전지의 성능을 감소시키는 요인으로 작용함. 따라서 Cr 함유 금속 분리판의 경우는 휘발성의 Cr(VI) 가스 종들의 발생을 막을 수 있는 합금개발이나 표면처리 방법 등이 필요하게 됨.

나) 금속 분리판의 경제적 특성

- 분리판은 SOFC 스택의 약 75%를 차지하며 SOFC의 경제성을 좌우할 가장 중요한 요인의 하나

로 인식되고 있음.

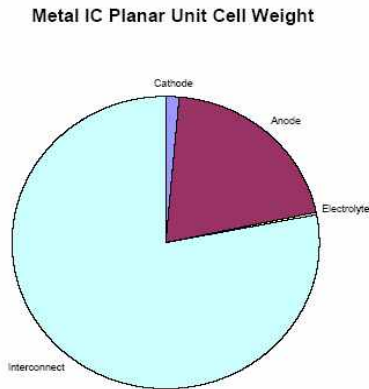


그림. 평판형 SOFC의 구성비(미국, DOE Report 39463-02 by ADL)

- STS계 금속 분리판은 기존의 세라믹 분리판에 비하여 분리판 자체 가격의 75%를, 그리고 SOFC 스택 가격의 45%를 절감시킬 수 있을 것으로 예측 됨.

	Planar Metal IC \$/m ²		Planar All-Ceramic ⁺ \$/m ²		
	Material	Process	Material	Process	
Anode	\$204.18	\$8.52	\$10.03	\$3.86	
Cathode	\$4.52	\$5.37	\$3.43	\$3.34	
Electrolyte	\$35.89	\$18.04	\$190.29	\$15.63	
Interconnect	\$81.94	\$15.27	\$380.07	\$31.15	← 75% off
Layer Assembly		\$65.55		\$135.61	
Subtotal	\$326	\$103	\$584	\$190	
Total	\$429		\$753		← 45% off

(DOE Report 39463-02 by ADL)

그림. SOFC 스택 제조 가격 비교도

- 이에 따라 선진국을 중심으로 SOFC용으로 적합한 금속 분리판 소재를 개발하기 위하여 많은 노력을 경주하고 있음.

나. 국내외 산업 현황 분석

1) 국내외 관련업체 규모 및 현황 분석

- 금속 분리판을 포함한 SOFC 부품은 미래 산업의 창출을 위한 제품으로써 현재는 시장이 형성되어 있지 않음.
- 선진국 업체들의 경우 활발한 연구 활동을 통하여 일부 시제품을 개발하고 있으나 아직까지는

소량을 주문 생산하여 연구용으로 공급하고 있음.

- 일본의 Hitachi Metal사는 SOFC용 분리판 합금으로써 ZMG232 합금을 개발하여 주문 생산 공급하고 있음.
- 독일의 Thyssen Krupp사는 Juelich 연구소가 개발한 Crofer22APU 합금을 주문 생산 공급하고 있음.
- 미국의 GE사는 SOFC용 분리판 합금으로써 GE Alloy를 개발하였다고 보고하였으나(2004년) 아직까지 그 조성이나 제조 방법 등은 알려지지 않았음.
- 국내의 경우는 아직까지 SOFC 분리판용 전용 합금은 개발되지 않았으며, 연구용으로써는 주로 Crofer22APU 합금을 수입하여 사용하거나 또는 포스코에서 생산하는 STS430 합금을 사용하고 있음.

2) 국내 및 세계 시장 분석 및 전망

- SOFC 부품은 기존 시장 진입을 위한 제품이 아닌 신규 시장 창출을 위한 제품이며, 따라서 이와 관련된 국내 시장 분석은 과거의 기형성 시장과 관련된 데이터 분석보다는 미래의 창출 가능한 시장 분석 차원에서 이루어지는 것이 타당함.
- 미국 에너지성에 의하면 미국 내에서만 2020년까지 3억5천만kW 이상의 신규 전력 수요가 필요하고, 전 세계적으로는 향후 10년 간 매년 1억1천만 kW규모의 신규 전력 수요가 발생할 것으로 예상하고 있음.
- 매년 신규 발전설비 시장 중 분산 발전 시장이 25~35%에 달한다고 보고 그 중에서도 소형 설비의 비중을 약 1/3으로 추정된 후 그 중에서 10~30%를 SOFC(또는 SOFC-GT 하이브리드) 동력원으로 시장 진입이 가능하다고 가정하면 2010년에는 미국의 시장 규모가 약 3,640MW 정도로 추산 됨.
- M-C Power사가 예측한 발전용 연료전지의 세계 시장 규모는 2010년에는 약 6,000MW에 달할 것으로 추정됨.(금속 분리판은 SOFC와 MCFC 모두 사용됨.)
- 상기의 자료를 바탕으로 하여 SOFC 시스템 가격을 1,000\$/kW로 그 중 구성요소 가격을 400\$/kW로 그리고 금속 분리판의 가격을 구성요소 가격의 25%인 100\$/kW로 가정하여 계산하면 금속 분리판의 세계 시장 규모는 2010년에는 약 6억 달러의 시장 형성이 가능할 것으로 추산 됨.

표. 금속 분리판 시장 규모 예측

구분	현재	2010년
세계 시장 규모(백만 \$)	10	600
미국 시장 규모(백만 \$)	-	364
국내 시장 규모(억원)	0.5	800

- SOFC용 금속 분리판의 국내 시장 규모는 2010년 약 800억원, 2015년 약 2,200억원 규모의 신규 시장 형성이 가능할 것으로 평가 됨.

(한국전력 장기 전원 개발 계획 중 자가 발전 용량 7,920MW의 10%를 SOFC 시스템이 차지한다고 가정하

고, SOFC 시스템 가격을 1,000\$/kW로 그 중 구성요소 가격을 400\$/kW로, 그리고 금속 분리판의 가격을 구성요소 가격의 25%인 100\$/kW로 가정하여 계산함.)

표. 가스터빈/연료전지 혼합형 발전 시스템 국내 잠재 수요(KIER 자료)
(단위: MW)

구분		2005년	2010년	2015년	비고
발전설비 예상수요	자가발전	6,450	7,920	9,110	
	기력발전	39,490	45,760	46,070	원자력 제외
하이브리드 동력원 예상수요	자가설비용	-	792	911	10% 가정
	노후화력 대체용	-	-	851	10% 가정
	기력설비 대체용	-	-	460	1% 가정
계			792	2,222	

- 상기의 시장 규모는 분산전원용 시장에 한정된 것으로써 가정용 및 자동차용 연료전지의 수요를 함께 고려하면 그 규모는 2~3배 더 클 것으로 예상 됨.

다. 국내외 기술 개발 현황

1) 국내 기술개발 동향

- 국내의 SOFC 연구자들은 분리판용 소재로써 주로 Crofer22APU 합금이나 Inconel 합금을 수입하여 사용하거나 또는 포스코에서 생산하는 STS430 합금에 고전도성 세라믹을 코팅하여 사용하고 있음.
- 국내에서 SOFC 분리판용 합금의 개발 연구는 (재)포항산업과학연구원(RIST)에서 주로 수행하고 있음.
- RIST는 MCFC용 분리판의 개발에 성공하여 상용화시킨 실적을 갖고 있으며, SOFC용 분리판 합금으로써 STS400 계열을 기반으로 하는 고내구성/저원가 합금의 개발을 추진하고 있음.

2) 국외 기술 개발 동향

- SOFC의 경제성과 내구성 향상을 통하여 실용화 가능성을 향상시키기 위하여 선진 각국은 금속 분리판의 개발에 많은 노력을 경주하고 있음.
- 미국은 DOE의 주관 하에 SECA program에서 SOFC용 금속 분리판의 개발을 활발히 진행하고 있음.
- PNNL(Pacific Northwestern National Lab.)과 GE사 등은 SOFC 분리판용 소재로써 Ni계 및 Fe-Cr계 합금 개발 연구를 추진하고 있으며 Ceramtec사는 고기능 코팅기술의 개발을 그리고 Delphi-Battelle에서는 고성능 분리판 구조(Cassette-type)의 개발을 추진하고 있음.
- 일본에서는 NEDO의 지원 하에 다수의 기업과 연구소들이 SOFC용 분리판 개발연구를 추진하

고 있음.

- Hitachi Metals사는 SOFC 분리판용 합금으로써 ZMG232를 개발하여 시판하고 있음. ZMG232 합금은 Fe-22Cr 합금에 소량의 La과 Zr을 첨가하여 내산화성과 전기전도성을 향상시킴. 그러나 최근 독일에서 개발된 Crofer22APU 보다는 성능이 조금 떨어지는 것으로 평가 됨.
- Mitsubishi Materials/KEPCO/JFCC 연합팀은 밀봉재가 필요 없는 Seal-less type의 금속 분리판 구조를 개발하고 있음.
- Tokyo Gas에서는 금속 분리판과 frame 그리고 cell-support-foil 등으로 구성되는 열응력을 완화 시킨 분리판 구조를 개발하고 있음.
- 독일에서는 Juelich 연구소가 최근 개발한 Crofer22APU 합금을 TyssenKrupp사가 주문재 형태로 생산 판매하고 있음.
- Crofer22APU 합금은 Fe-22Cr 합금에 미량의 La과 Mn, Ti 등을 첨가하여 산화물 구조를 상층의 $MnCr_2O_4$ 와 하층의 Cr_2O_3 형태로 형성시킴으로써 산화안정성과 전기전도성을 향상시킴. 현재까지 보고 된 합금 중에서는 고온 전기저항 값이 가장 낮은 수준인 것으로 알려짐[표. 16]. 그러나 합금 성분 중의 Cr 가스 종들의 휘발에 의한 전극 열화문제를 극복하지 못하고 있고 이에 따라 보장 수명도 5,000 시간 내외에 머물고 있는 것으로 알려 짐.

표. Area specific resistance($\Omega \text{ cm}^2$) of STD430, ZAG232 and Cropper22.^{19,20)}

Test conditions	STD430	ZAG232	Cropper22
750°C×1000h in Air	0.11	0.025	-
800°C×2000h in Air	-	0.04	0.01

- 스위스의 Shultz-Lexis사는 Inconel 합금을 소재로 사용하여 밀봉재가 필요 없는 Seal-less type 분리판 구조를 개발하고 있음.