

연료전지용 금속분리판에서 표면처리기술 Application of the Surface Treatment for the Metal Separator in Fuel Cells

이창래*, 양철남, 문성모, 정용수
Chang Rae Lee*, Cheolnam Yang, Sungmo Moon, Yongsoo Jeong
재료연구소 연료전지소재연구그룹
Fuel Cell Materials Research Group, Korea Institute of Materials Sciences (KIMS)

1. 서 론

화석연료 등 기존 에너지자원의 한계와 대규모 CO₂ 배출에 의한 지구온난화 등 지구환경 문제가 초미의 관심으로 부각되고 있는 현시점에서 지구상에 존재하는 환경친화적이고 재생 가능한 에너지원을 이용한 신재에너지원에 대한 관심이 국내외적으로 어느 때보다 고조되고 있다. 그중에서도 수소연료전지기술, 태양광 발전기술, 풍력발전 등은 신고유가시대의 새로운 에너지 대안으로 산업화 기술개발이 경쟁적으로 진행되고 있다. 이러한 새로운 기술들의 산업화에는 성능향상, 장기수명 확보 (신뢰성) 및 시장 소비자의 수요에 부합하는 적절한 가격문제가 해결되어야 한다. 특히 수소연료전지는 에너지 효율, 환경문제 등 여러 가지 관점에서 많은 장점이 있지만 상업화 관점에서 보면 현재 사용되고 있는 부품소재의 성능향상, 신뢰성, 수명, 가격 등에서 여전히 해결해야 할 과제가 많다. 본고에서는 고분자 수소연료전지용 금속분리판에서 표면처리기술의 활용과 그 가능성에 대하여 살펴 보고자한다.

2. 연료전지용 분리판

수소연료전지 본체시스템은 표 1에서 볼 수 있는 것처럼 다양한 고유 기능을 갖는 다수의 핵심부품으로 구성되어 있다. 분리판(Bipolar plate 또는 Separator)은 수소연료전지 스택(stack)을 구성하는 핵심 부품중 하나로서 스택 내부에 가스 및 냉각수의 유로를 제공함과 동시에 두 반응가스의 혼합을 방지하고 전극반응으로 생산된 전기가 흐르는 통로 역할을 수행한다.

분리판은 소재 및 제조단가가 저렴하고, 고내식성 및 우수한 열 및 전기 전도성이 요구된다. 고분자전해질연료전지(PEFC)용 분리판은 탄소(graphite)소재 분리판, 탄소분말/폴리머 수지를 이용한 복합소재 몰드형 분리판과 금속 분리판으로 크게 나눌 수 있다. 표 2는 이들 소재 분리판의 장단점을 나타낸 것이다. 초기에는 graphite 기판을 이용하여 CNC 기계가공으로 가스유로를 형성한 분리판이 주류를 이루었지만 기계적 충격 강도에 약하고 고가의 가공비로 인해 실용화의 장애가 되었다. 이러한 가격 문제점을 해결하기 위하여 몰드성형 탄소-수지 복합재 분리판이나 금속재 분리판 개발이 진행되고 있다.

특히 연료전지자동차분야에서 금속소재 분리판 개발은 사용환경에 따른 기계적 진동 및 충격에 강하고 무게 및 부피 대비 출력면에서 유리할 것이라는 관점에서 알루미늄 및 그 합금계, 타이타늄계, 스테인리스계 등 금속 소재를 기본으로 하여 다양한 대한 연구가 진행되어왔다. 실질적인 금속분리판 개발에 있어서 고려해야할 핵심 사항으로 소재 관점에서는 운전환경에서의 소재의 고내식성 및 계면접촉저항성, 산업적 측면에서는 대량생산성 및 소재 공정의 단가비용이다. 현재 연료전지 자동차용 분리판에는 기계적 강도 확보, 경량화와 박형화가 가능한 스테인리스계 금속재 분리판의 개발이 대체를 이루고 있다. 그러나 스테인리스강 (304, 316L, 310S, 904L 등) 금속 분리판은 내식성과 표면 산화물에 의한 계면 전기저항의 증가가 큰 문제가 되고 있다[1].

또한 미국의 에너지성(DOE, Department of Energy) 프로그램 일환으로 E.J. Carlson[2]은 분리판의 두께에 따른 volumetric power density, 중량, 열전도, 전기전도 및 계면저항, 소재 및 제조공정 단가의 변수를 이용하

* changlee@kims.re.kr

여 연료전지 시스템 가격분석 실시하였다. 그 결과에 따르면 금속 소재 분리판이 graphite 소재 분리판보다 성능, 가격 및 volumetric power density, 열관리 측면에서 월등히 유리하지 못한 것으로 보고되고 있다. 현재 graphite 분리판의 두께가 3mm에서 1mm에 근접함으로써 금속 분리판(0.3~1mm)에 대응할 수 있을 정도이고 금속은 표면에 형성되는 절연 산화물로 인하여 계면접촉저항이 높아 코팅 등의 표면처리 공정비용이 추가됨으로써 가격이나 중량면에서 불리한 것으로 분석되고 있다. 따라서 금속분리판이 수소연료전지에서 실질적으로 적용되기 위해서는 값싸고 효과적인 표면처리 공정 및 코팅소재 개발이 중요한 전제 조건이 되고 있다.

표 2. 수소연료전지 본체시스템(Stack)의 주요 구성부품 및 기능.

주요부품 및 기술	주요 기능	
스택(stack)	연료전지 본체	
MEA	전극과 전해질막의 일체화	
전극	촉매층과 GDL을 일체화	
촉매	전극반응이 일어나는 장소	
GDL	가스 (수소, 공기) 투과와 물의 원활한 배출을 가능, 촉매의 집축	
전해질막	수소이온의 선택적 투과 (anode에서 cathode로)	
분리판	반응가스의 혼합방지, 가스공급/물 배출 유로, 집전된 전기의 경로	
BOP (Balance of Plant)	개질기 및 스택과 조립되어 연료전지 운전시 보조 역할을 수행하는 장치들	
조립/접합체	가스의 집합/분배하는 출입구, 냉각수 패턴, 셀 조립구조 등 관련 기술	
개질기	탄화수소 (연료)이용 수소 제조	
운전조건/방법	개질기 및 스택의 운전기술	
연료전지 시스템	개질기, 스택, 제어기기 등을 통합하는 기술	

표 3. Graphite, 복합소재, 금속소재 분리판의 장단점

소재 구분	Graphite	Graphite 복합소재	금속소재
			Al, Ti, SS (316L, 310S 904L)
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 화학적 안정성 • 낮은 밀도 • 낮은 계면접촉저항 • 내식성 	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 계면접촉저항 • 내식성 	<ul style="list-style-type: none"> • 열전도성 높음 • 재활용성 (recycle) • 대량생산성
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 가공단가 높음 • Brittle • Thick 	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 bulk 전도성 	<ul style="list-style-type: none"> • 코팅 등 표면처리 필요 • 전해질막 오염 가능성 • 표면 절연산화물 형성

3. 금속분리판에서 표면처리기술

일반적으로 금속 분리판 기술개발에서 내식성과 전도성 향상을 동시에 확보하기 위하여 금속소재 표면상에 내식성 및 전도성 코팅 또는 표면 개질화 처리를 시도되고 있다. 표 3은 금속분리판 개발에 있어서 DOE의 기술목표에 따른 이용 가능한 소재 및 표면처리의 적용 가능성을 나타낸 것이다.

일본 혼다(Honda) 자동차는 스미토모 금속(Sumitomo Metals)과 공동으로 새로운 스테인리스 금속재 분리판을 개발하였다. 이 금속분리판은 기존의 스테인리스강 표면의 산화 피막으로 인해 계면저항이 증가하는 단점을 보완하기 위하여 미세한 전도성의 석출물을 스테인리스강 기지 내에 석출시켜 표면에 노출된 석출물이 전기적인

표 3. 금속분리판의 DOE 요구목표에 따른 소재 및 표면처리 적용 가능성.

DOE Requirement	Materials		Uncoated				Coated	
	Al	Ti	Stainless steel				By noble metal	By non-noble metal, or surface modified SS
			304	316	310	904	Au or Pt plated Ti	310SS, 316SS, 904SS
Bulk conductivity (>100S/cm)	○	○	○	○	○	○	○	
Contact resistance (<10mΩ/cm ²)	×	×	△~×	△~×	△~×	△~×	○ (<5)	
Corrosion (<1uA/cm ²)	×	○	△	△	△	△	○	
H2 permeability (< 2×10 ⁻⁶ cm ³ /cm ² ·sec)	○	○	○	○	○	○	○	
Cost (\$10/kW)	○	△	○	○~△	○~△	△	×	

○ acceptable △ considering × non-acceptable

Electroplating : not acceptable due to pinhole and surface contamination

통로 역할을 하고 스테인리스강 표면에 형성된 산화층으로 내식성이 확보되도록 설계되었다[3].

일반적으로 금속 분리판 기술개발에서 내식성과 전도성 향상을 동시에 확보하기 위하여 스테인리스강 표면에 질화처리(Nitride)와 같은 표면개질을 실시하고 있다[4]. 연료전지의 가격저하를 위해서는 금속 분리판의 부품·소재 개발에 있어서 고려대상의 소재가격은 대략 316 스테인리스강보다 낮은 가격대를 유지해야한다. Au나 Pt 코팅 같은 고가의 표면개질공정이나 금속 합금소재는 금속분리판 소재 연구개발에 이용할 수 없다. 따라서 표 3에서 알수 있는 것처럼 금속소재 분리판의 개발의 핵심은 고내식성과 양호한 계면접촉저항성을 확보하기 위한 값싼 표면처리 소재 및 공정기술 개발이 관건이다.

표 3. 미국 DOE의 연료전지 자동차용 금속 분리판 기술목표 (2006 판).

주요 요구 특성	2005 상황	2010년	2015년	비고
• Bulk Conductivity (S/cm)	> 600 (carbon plate)	> 100	> 100	ASTM C-661
• Contact Resistivity (mΩ·cm)	<20	<10	<10	
• H ₂ permeability (cm ³ /cm ² ·sec)	<2×10 ⁻⁶	<2×10 ⁻⁶	<2×10 ⁻⁶	@ 80℃, 3 atm
• Corrosion rate (μA/cm ²)	<1	<1	<1	ASTM G5
• Cost (\$/kW)	10	5	3	<1kg/kW

4. 맺음말

분리판 개발은 글로벌 시장에서 경쟁력 확보를 위하여 고성능, 경량화, 박형화, 대량생산성, 고내식성, 저가격화 등의 세부사항을 충분히 고려하여 추진되어야 한다. 금속분리판 개발에 있어 표면처리 공정을 적용할 경우 새로운 공정 추가로 인한 단가비용이 상승하므로 표 3에 나타난 DOE 기술목표를 만족할 수 있도록 사전에 충분한 검토가 필요하다. 따라서 금속분리판을 탑재한 수소연료전지 시스템이 실질적으로 시장에서 소비자의 수요에 부합되기 위해서는 R&D 단계에서 성능과 가격을 함께 충분히 고려하여 값싸고 효과적인 표면처리 공정기술 및 코팅소재 개발을 진행할 때 수소연료전지에서 금속분리판의 적용가능성을 확보할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin, S. J. Rowen,, J. Applied Electrochem., 30, 101-105 (2000) ;
D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin, S. J. Rowen, J. Power Sources, 86, 237-242 (2000).
- [2]. Eric J. Carlson, "Cost Analysis of Fuel Cell Stack/Systems" in Hydrogen, Fuel Cells, and
Infrastructure Technologies, FY 2003 Progress Report.
- [3] Sumitomo Metals website.
(<http://www.sumitomometals.co.jp/e/news/news2003-10-28.html>)
; US 6379476 (2002)
- [4] M.P. Brady, K. Weibrod, C. Zawodzinski, L. Paulaukas, R. A. Buchanan and L.R. Walker,
Electrochem, Solid-State Lett., 5(11), A245-A247 (2002).