

고온 고분자 전해질 연료 전지의 기동시간 단축을 위한 섬유 강화 복합재 엔드 플레이트 개발

Reduction of Startup Time Using Glass Fiber Reinforced Plastic End Plates for High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell

*김지석¹, 김남일¹, 박정빈¹, 김윤미¹, 선희영², 김경훈³, 송태원², 홍석기², #안성훈¹

*J. S. Kim¹, N. I. Kim¹, J. B. Park¹, Y. M. Kim¹, H. Y. Sun², K. H. Kim³, T. W. Song², S. K. Hong², #S. H. Ahn¹
(ahnsh@snu.ac.kr)¹

¹ 서울대학교 기계항공공학부, ² 삼성종합기술원, ³ 삼성전자

Key words : End plate, pressure plate, glass fiber reinforced plastic, startup time, proton exchange membrane fuel cell

1. 서론

근래의 고분자 전해질 연료 전지 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)는 100°C 이상에서 작동하는 고온 PEMFC에 초점이 맞춰지고 있다. 이는 상온 PEMFC의 문제인 CO tolerance, 수분 제어, 열 방출 등을 고온에서는 해결할 수 있기 때문이다.^{1,2}

비록 고온 PEMFC가 이전의 상온 PEMFC에 비해 이러한 장점들을 가지고 있으나, 몇 가지 해결해야 할 과제들도 또한 있다. 이 중 하나는 긴 기동 시간 (startup time)이다. 기동 시간은 내부 셀 (cell)이 작동 온도까지 도달하는데 걸리는 가열 시간을 의미한다. 기동 시간을 단축하기 위해서는 엔드 플레이트 (end plate)에서의 열손실 문제를 해결해야 한다. 엔드 플레이트 (Fig. 1)는 셀 제일 바깥 부분에 위치하며, 내부에 압력을 가하는 역할을 하는 부품이다.³ 기존에는 알루미늄 합금, 티타늄 합금, 스테인리스 스틸 등의 금속 엔드 플레이트가 주로 사용되었다. 하지만 금속의 큰 열용량과 열 전도성 때문에 내부 셀의 열이 밖으로 많이 방출되어, 기동 시간을 늘려왔다.

이러한 단점을 극복하기 위하여, 본지에서는 엔드 플레이트의 재료를 복합재로 대체하는 방안을 제시하였다. 이를 위하여 재료를 선정, 구조 변경, 해석, 제작, 평가 등을 통하여 기존에 스테인리스 스틸 316으로 제작되어 사용되던 고온 PEMFC의 엔드 플레이트를 복합재로 바꿔보았다.

2. 재료 선정 및 평가

엔드 플레이트는 구조, 열 하중에 견디기 위하여 어느 정도 이상의 강도와 강성이 요구된다. 동시에 가벼움과 작은 열 손실이 요구된다. 또한 사용 시의 안전을 위하여 내부에서 발생하는 전기가 외부로 방출되지 않게 전기 절연성이 필수적으로 요구된다. 기존의 금속 엔드 플레이트는 전기 절연성 조건을 만족시키지 못했기 때문에 폴리머 (polymer) 재질의 절연판 (insulator plate)이 별도로 제작되어 왔다.

기존의 금속 엔드 플레이트를 대체하기 위하여 비강도, 비강성이 높고 열 전도성과 열팽창 계수가 낮은 섬유 강화 복합재를 사용하였다. 섬유 강화 복합재 중에서 경량 구조물에 가장 많이 사용되는 유리 섬유 강화 복합재 (Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP), 탄소 섬유 강화 복합재 중에서, 전기 전도성이 없는 GFRP를 최종 재료로 선정하였다.

유리 섬유 강화 복합재는 보강재로 평직 유리 섬유를 사용하였다 (KN 418, KPI Co., Ltd.). 기지재료로는 열경화성 수지 (thermosetting resin)인 페놀계 에폭시 수지를 사용하였다 (YPDN-631, Kukdo chemical Co., Ltd.).

GFRP의 기계적 물성을 측정하기 위해서 ASTM 규격에 따른 실험들을 수행하였다. 인장 특성, 굽힘 특성, 열팽창 계수, 비열, 열전도성 등을 측정하였다. 또한 고온 환경에서의 거동을 알아보기 위하여 160°C에서의 인장, 굽힘 특성을 측정하였으며, 이 값들을 스테인리스 스틸 316의 물성과 비교하였다 (Table 1).

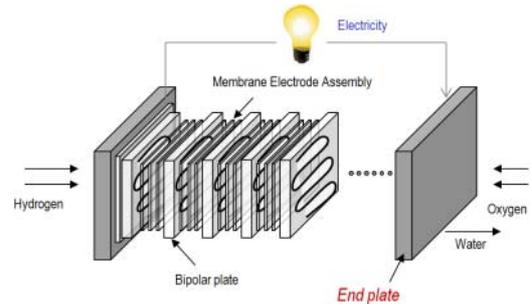


Fig. 1 Schematic view of PEM fuel cell

Table 1 Material properties of stainless steel 316 and GFRP composite

	Unit	Stainless steel 316	Glass-fiber/epoxy		
			23°C	160°C	
Modulus	Tensile	GPa	193	15.74	11.26
	Flexural	GPa	-	15.15	10.99
Poisson's ratio		-	0.25	0.08079	
Strength	Tensile, yield	MPa	250	-	
	Tensile, ultimate	MPa	565	325.8	228.1
	Flexural, yield	MPa	-	299	208.8
Density		kg/m ³	8000	1622	
CTE	X, Y direction	μm/m-K	16.2	8.501	
	Z direction	μm/m-K		5.272	
Thermal conductivity		W/m-K	16.3	0.4282	
Specific heat		kJ/kg-K	0.5	0.5682	

3. 유한 요소 해석

엔드 플레이트는 체결압 뿐만 아니라 연료와 냉각수의 압력, 열에 의한 하중을 견뎌야 한다. 따라서 실제 엔드 플레이트를 제작하기 이전에, 유한 요소 해석을 통해 GFRP 엔드 플레이트가 이러한 하중을 견딜 수 있는지를 확인하였다. 또한 스테인리스 스틸과 GFRP 엔드 플레이트의 기동 시간을 비교하였다.

실제 연료 전지 구동 시 사용하는 방법과 동일하게 고온의 수증기가 냉각수 파이프를 통해 주입된다고 설정하고, 작동 온도인 120°C까지 도달하는 기동 시간을 비교하였다. 또한 작동 온도 상태의 온도 분포에서 체결압 등의 조건에 의한 변형과 최대 응력을 비교하였다 (Table. 2).

Table 2 Analysis results

Material	Stainless steel 316	Glass-fiber /epoxy
Startup time [min]	70.8	47.7
Equivalent stress [MPa]	5.83	11.6
Out-of-plane [μm]	4.47	9.10

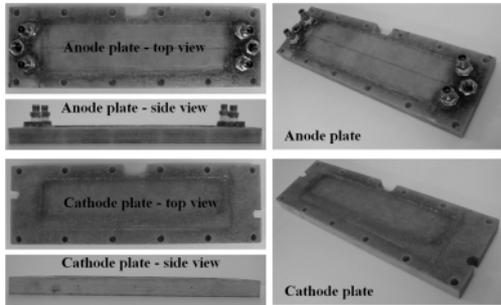


Fig. 3 Fabricated GFRP end plates

해석 결과, GFRP 엔드 플레이트를 적용함으로써 기동 시간은 70 분에서 50 분으로, 약 30 % 정도 감소하였다. 최대 등가 응력은 연료 입, 출구 부근에서 나타났으며, 6 MPa 에서 12 MPa 로 약간 증가하였으나, 이는 재료의 강도보다 훨씬 작은 값이기 때문에, 엔드 플레이트가 파손되지 않을 것으로 생각된다. 최대 변형량은 엔드 플레이트 중앙 부분에서 나타났으며, 5 μm 에서 10 μm 로 약간 증가하였으나, 가스가 샌다거나 연료 전지의 성능이 떨어질 정도의 차이는 아닐 것으로 생각된다.

4. 제작 및 평가

GFRP 는 제작 과정에서 기공이 존재할 수 있기 때문에, 냉각수, 연료 입, 출구 부분의 설계를 변경하여 가스의 누출이나 반응을 막을 필요가 있다. 따라서 냉각수, 연료 파이프와 연결되는 커넥터 (connector) 부품을 추가로 제작하였다. 커넥터는 스테인리스 스틸로 제작하였으며, 복합재 제작 중에 삽입되었다. 복합재는 수적법 (hand lay-up)으로 쌓은 후, 진공 성형법 (vacuum bag molding)을 사용하여 경화시켰다. 성형된 GFRP 판은 절단, 드릴링 등의 기계 가공을 통하여 Fig. 3 의 최종 형상으로 제작되었다.

제작된 GFRP 엔드 플레이트와 기존의 스테인리스 스틸 엔드 플레이트를 각각 조립하여 가열, 기동 시간을 비교하였다. 내부 셀의 온도는 각각의 셀에 위치한 열전대 (thermocouple)를 통해서 측정하였다 (Fig. 4).

측정 결과, 스테인리스 스틸 엔드 플레이트는 80 분을 가열하였음에도 작동 온도인 120°C 까지 도달하지 못하였다. 반면 GFRP 엔드 플레이트의 경우에는 30 분 정도에서 이미 120°C에 도달하였다.

작동 온도에 도달한 후에는 연료를 주입, 연료 전지를 구동하였다. 0.2 A/cm²의 current density에서 구동 시 발생한 전압을 각각 셀마다 측정한 결과, 발생 전압의 평균은 스테인리스 스틸 엔드 플레이트는 0.604 V, GFRP 엔드 플레이트는 0.602 V로 큰 차이가 없었다. 반면 GFRP 엔드 플레이트를 사용한 경우, 전압의 표준 편차가 10.94 mV 에서 9.432 mV 로 감소하여, 균등한 셀 마모가 예상된다 (Fig. 5).

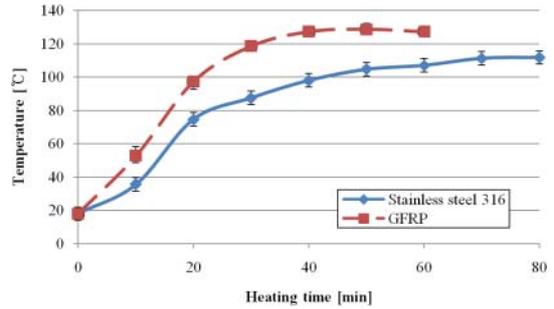


Fig. 4 Internal temperature as a function of heating time

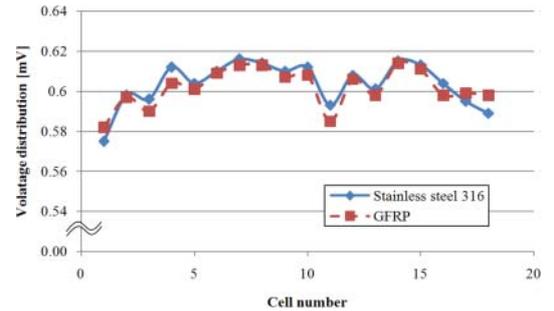


Fig. 5 Voltage distribution (current density 0.2 A/cm²)

5. 결론

고온 고분자 전해질 연료 전지의 기동 시간을 줄이기 위해서 GFRP 엔드 플레이트가 제작되었다. ASTM 규격에 따라 GFRP 의 기계적 물성을 측정하였으며, 이를 토대로 유한 요소 해석을 수행하였다. 해석 결과, GFRP 엔드 플레이트 적용 시 기동 시간은 30 % 정도 감소하는 것을 보였으며, 파손되거나 과도한 변형으로 인한 성능 저하는 없을 것으로 판단되었다. 이 결과를 토대로 실제 GFRP 엔드 플레이트를 제작, 조립하여 스테인리스 스틸 엔드 플레이트를 사용했을 경우와 비교하였다. 그 결과 기동 시간은 50 % 이상 줄었으며 발생 전압에는 큰 차이가 없었고 셀간 전압 편차도 줄었다. 또한 엔드 플레이트 자체가 절연판 역할을 수행함으로써, 절연판을 생략할 수 있었다.

후기

본 연구는 삼성 전자 (Project No. 0420-2007-011)와 서울대학교 정밀기계연구소 (Institute of Advanced Machinery and Design)에 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- Shao, Y., Yin, G., Wang, Z., and Gao, Y., "Proton exchange membrane fuel cell from low temperature to high temperature: Material challenges," Journal of Power Sources Vol. 167, pp. 235-242, 2007.
- Zhang, J., Xie, Z., Zhang, J., Tang, Y., Song, C., Navessin, T., Shi, Z., Song, D., Wang, H., Wilkinson, D., Liu, Z. S., and Holdcroft, S., "High temperature PEM fuel cells," Journal of Power Sources Vol. 160, pp. 872-891, 2006.
- Kim, J. S., Park, J. B., Kim, Y. M., Ahn, S. H., Sun, H. Y., Kim, K. H., and Song, T. W., "Fuel Cell End Plates: A review," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 9, No. 1, pp. 39-46, 2008.