

무인기 구동을 위한 PEM 연료전지 스택의 초경량 바이폴라 플레이트 Light Bipolar Plate of the PEM Fuel Cell Stack for UAV Application

김기인, 이종광, 김태규, 권세진
Kiin Kim, Jongkwang Lee, Taegyu Kim and Sejin Kwon
한국과학기술원 항공우주공학과, 대전 305-701
(발표자 연락처 : 042-869-3721, trumpet@kaist.ac.kr)

ABSTRACT

PEM(Proton Exchange Membrane) fuel cell was selected as a power plant of a UAV as it delivers power output higher than other types of fuel cell. PEM fuel cell consists of four main parts: membrane, electrode, GDL(Gas Diffusion Layer) and bipolar plate. This paper presented the fabrication process of the photosensitive glass bipolar plate for a compactness and a light weight that are necessities for UAV systems. The glass bipolar plate is made of an anode layer, a cathode layer, a separation layer and an electrode. The fabrication methods on photosensitive glass for each parts were developed. Thermal bonding technique was used in assembly procedure. Aluminum insert was used to improve an electric conductivity.

1. 서 론

최근 눈부신 산업발전에 따른 화석연료의 고갈과, 이산화탄소의 발생 등에 의한 지구 온난화 현상 등의 환경적 문제가 부각됨에 따라 화석연료를 대체하기 위한 신에너지 개발에 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 현재 KAIST에서는 무인항공기의 동력 장치로 연료의 화학적 에너지를 직접 전기 에너지로 변환하는 연료전지를 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

무인항공기는 1910년대 1차 세계대전 당시 미국 등의 나라에서 감시정찰용 항공기에 대한 필요성을 인식하면서 연구되기 시작하여, 현재는 전 세계적으로 200여종이 개발되어 실제 운용되고 있다. 그러나 현재까지도 무인항공기에 대한 지속적인 연구에도 불구하고, 동력 기술은 여전히 기존의 내연기관이나 2차 전지에 의존하고 있는 실정이며, 진동, 소음 및 낮은 효율 등으로 인해 본연의 임무 수행에 큰 제약을 받고 있다. 이에 연료전지를 무인항공기의 동력원으로 적용시키고자 하는 연구가 선진국을 중심으로 진행되고 있다[1].

무인항공기에 적용하고자 하는 연료전지는 다른 연료 전지에 비해 작동온도가 낮고, 장치가 단순하여 가벼우면서도 높은 전류밀도를 오랜 시간동안 유지할 수 있는 특성을 지녀야 한다. 이에 따라 KAIST에서는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC, Proton Exchange Membrane Fuel Cell)를 선정하였다. 그림 1은 KAIST에서 제작한 고분자 전해질 연료전지를 탑재한 무인 항공기이다. 고분자 전해질 연료전지는 연료인 수소와 산소의 산화반응을 통해 전기 에너지를 생성한다. 무인항공기 운용에 적합한 수준의 동력을 생성하기 위해서는 각각의 단위 셀(cell)들을 직렬로 연결하여 하나의 스택(stack)을 형성해야만 한다. 바이폴라 플레이트는 연료 전지의 스택에서 가장 많은 질량을 차지하는 구성요소로, 단위 셀에서 발생하는 전기적 에너지를 인접하는 연료전지에 연결해 주는 역할을 한다. 일반적으로 고분자 전해질 연료전지에는 흑연(graphite) 재질의 바이폴라 플레이트가 사용되고 있다. 그림 2는 무인항공기의 동력원(KAIST)으로 사용한 연료전지 스택으로, 흑연 바이폴라 플레이트를 사용하고 있다.

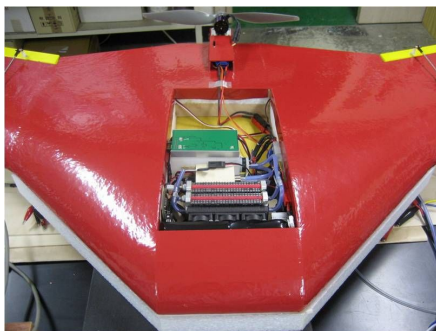


그림 1. PEM 연료전지가 탑재된 무인기

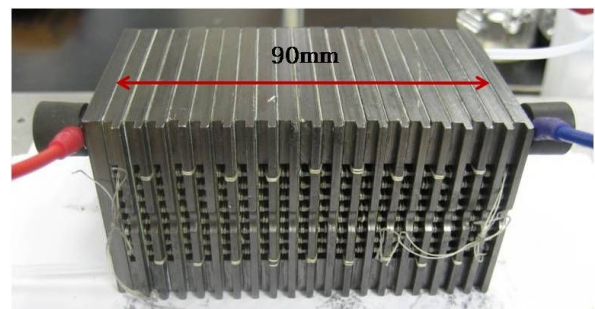


그림 2. 흑연 연료전지 스택(20개 연료전지)

표 1. 바이폴라 플레이트 요구조건

Required characteristics	Value
Electrical conductivity	$> 10\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
Thermal conductivity	$> 20\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Gas permeability	$< 10^{-7}\text{mBarLs}^{-1}\text{cm}^{-2}$
Flexural strength	$> 25\text{MPa}$

그러나, 상용 흑연 연료전지의 무게 제약으로 인해 운용시간에 제약을 받고 있으며, 이를 해결하기 위해 기존의 고분자 전해질 연료전지에 비해 더욱 경량화된 연료전지가 요구되고 있다.

이 연구에서는 기존의 상용 흑연 바이폴라 플레이트를 이용한 연료 전지보다 경량화된 고효율 연료전지 제작을 위한 새로운 재료의 바이폴라 플레이트 제작에 그 목적을 두었다. 이를 위해 감광유리(photosensitive glass)의 MEMS 가공 기술을 이용한 새로운 바이폴라 플레이트의 제작 공정을 확립하였다.

2. 흑연과 감광유리 특성

연료전지에서 바이폴라 플레이트는 한 셀의 연료극으로부터, 인접하는 다른 셀의 공기극으로 전류를 전달해 줘야 하며, 연료인 수소와 공기중의 산소를 바이폴라 플레이트에 골고루 분포시킬 수 있어야만 한다. 또한 화학적 반응간 발생하는 열을 식혀줄 수 있는 냉각 물질이 이동할 수 있어야 하며, 이 때, 반응하는 기체들과 냉각 물질은 혼합되지 않도록 분리되어야만 한다. 바이폴라 플레이트를 이루는 물질의 요구조건은 표 1에 제시되어 있다.

고분자 전해질 연료전지의 바이폴라 플레이트로 흑연이 주요 사용되고 있는 이유는, 흑연이 전기 전도성 물질이며 제작이 쉽고, 다른 물질들과 비교해 상대적으로 낮은 밀도를 지닌다는 장점이 있기 때문이다. 이에 반해, 흑연은 매우 침투성이 강한 물질이므로 반응하는 기체들간의 혼합 및 기체의 누출이 발생할 수 있다. 그러므로 바이폴라 플레이트를 제작할 때에는 기체들의 혼합 및 누출을 방지하기 위한 추가적인 노력이 필요하다. 이러한 이유로 흑연이 비록 밀도가 낮은 물질이지만, 흑연으로 제작된 바이폴라 플레이트는 다른 물질들에 비해 특별하게 가볍지는 않다[2].

감광유리는 기체 침투성이 흑연에 비해 월등히 낮으므로 그 자체만으로 기체들의 혼합 및 누출을 방지할 수 있다. 또한, 식각(etching)을 통해 채널의 두께를 임의적으로 조절할 수 있으므로 연료전지의 무게를 충분히 줄일 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 감광유리는 흑연에 비해 전기 전도도(electrical conductivity)가 크게 못 미치므로, 전기 전도도를 보장하기 위해 별도로 전도체를 포함시켜야만 한다. 이 연구에서는 알루미늄(Aluminum, Al)을 전도체로 선정하였다.

표 2. 물질별 특성

	Electrical conductivity ($\Omega\times\text{m})^{-1}$	Electrical resistivity (Ωm)	Density (g/cm^3)
Graphite	$3\times 10^4\sim 2\times 10^5$	3.3×10^{-5}	2.09~2.23
Photosensitive glass	1.2×10^{-11}	8.1×10^{10}	2.37
Aluminum	3.8×10^7	26.5×10^{-9}	2.7

표 3. 흑연 / 감광유리 바이폴라 플레이트 비교

	Mass (g)	Volume(mm) (w×h×t)	Electrical conductivity ($\Omega\times\text{m})^{-1}$
Graphite	24	57×60×4.5	$3\times 10^4\sim 2\times 10^5$
Photosensitive glass	4.7	44×44×1.6	$3.8\times 10^7(\text{Al})$

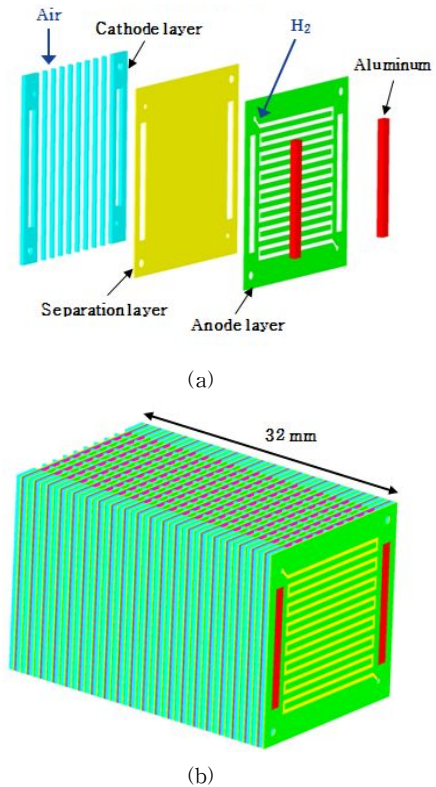


그림 3. (a) 단위 셀 개념도
(b) 스택 개념도

알루미늄은 전기 전도성 물질로 흑연에 비해 월등히 높은 전기 전도도를 지니고 있으며, 밀도 또한 흑연 및 감광유리와 비슷한 수준을 보이고 있다. 흑연, 감광유리 그리고 알루미늄의 물질 특성은 표 2에서 제시하고 있다[3], [4].

상용화된 흑연 바이폴라 플레이트와 동일한 형태 및 크기로 제작한 감광유리 바이폴라 플레이트(알루미늄 전도체)를 물리적 특성으로 비교하면, 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

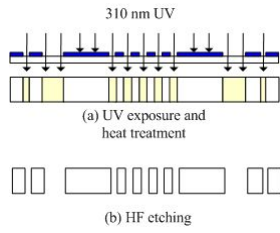


그림 4. 연료극 제작 공정도

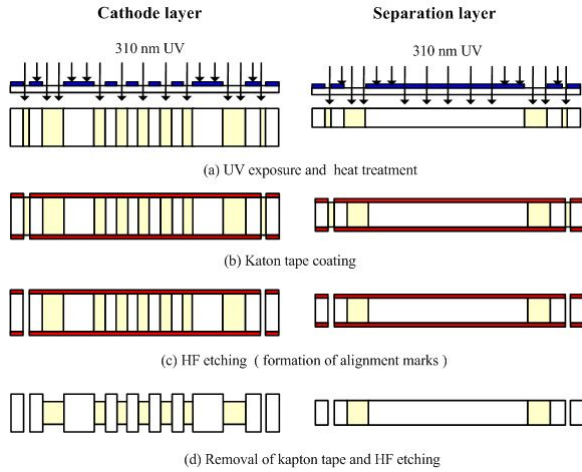


그림 5. 공기극과 분리층의 제작 공정도

3. 제작 공정

감광유리 바이폴라 플레이트의 제작은 기존에 사용되고 있던 상용 흑연 재질의 판과 성능 비교를 위해 동일한 크기와 형태로 제작하였다. 감광유리를 사용한 제작 공정시에 중요한 설계 변수들은 다음과 같다. 감광유리는 전기 절연성이 강한 물질이므로, 알루미늄 전도체의 삽입을 통해 전기 전도성을 증가시켜야만 한다. 또한, 공기의 유입을 위한 공기극(cathode layer)의 식각은 채널들의 이탈이 발생할 수 있으므로, 먼저 분리층(separation layer)과의 접합이 필요하며 감광유리의 접합은 열 접합 방법을 채택하였다. 그림 3은 감광유리 바이폴라 플레이트의 개념도와 스택의 모습이다.

감광유리 바이폴라 플레이트의 제작 공정은 다음과 같다. 먼저 연료극(anode layer), 분리층 그리고 공기극을 제작하기 위한 감광유리를 준비하고, 310nm 파장의 UV에 노광을 한다. 노광 후, 감광유리를 열처리(heat treatment)하여 UV에 노광된 영역을 재결정화 한다. 재결정화 된 부분은 그 표면이 매우 거칠게 되어 접합시에 영향을 미치게 되므로, 표면을 매끄럽게 하는 공정(polishing)이 필요하다. 연료극은 그 자체만으로 식각하여 연료인 수소가 유입될 채널을 형성한다. 그림 4는 연료극의 제작 공정을 보여주고 있다. 공기극과 분리층의 제작 공정은 그림 5에서 제시하고 있으며, 제작 공정은 다음과 같다. 먼저, 공기극과 분리층을 정확하게 정렬하여 접합시키기 위해서 별도의 정렬 표시만을 남긴 나머지 부분은 캡톤(kapton) 테이프를 붙인 후, 정렬

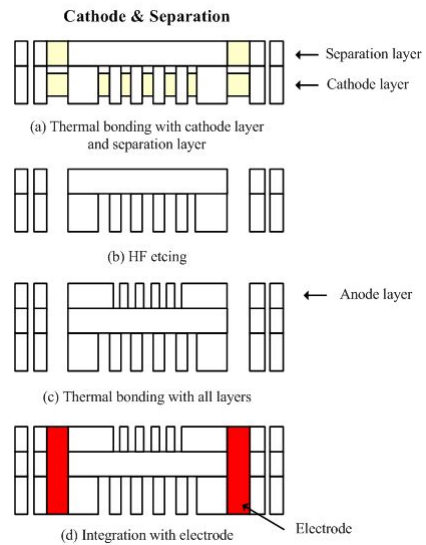


그림 6. 통합 공정도

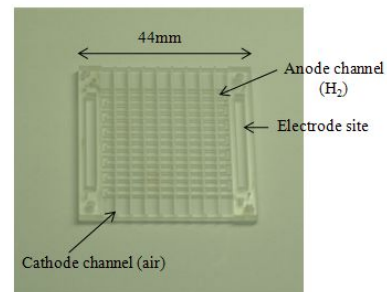


그림 7. 감광유리 바이폴라 플레이트

표시만을 식각한다. 식각 완료 후에 캡톤 테이프를 제거하고, 공기극의 표면층 일부를 약간 더 식각해 준다. 모든 식각이 완료된 공기극과 분리층은 정확히 정렬시켜 노(furnace)를 이용하여 열 접합을 하였다.

열 접합이 완료된 공기극과 분리층을 식각하면 공기극의 산소가 유입될 채널과 전도체인 알루미늄이 삽입될 부분이 형성된다. 각각의 층들에 대한 식각이 완료되면, 연료극, 분리층 그리고 공기극을 열 접합을 통해 접합하여 통합한다. 이 제작 공정은 그림 6에서 제시하고 있으며, 그림 7은 제작 공정을 완료한 감광유리 바이폴라 플레이트의 모습이다.

4. 결론 및 향후계획

현재 사용되고 있는 고분자 전해질 연료전지용 흑연 바이폴라 플레이트를 대체할 수 있는 감광유리 바이폴라 플레이트에 대한 연구를 다음과 같이 수행하였다. 기존에 흑연이 지니고 있는 장점들은 유지하면서 단점들을 보완할 수 있도록, 감광유리에 전도체로 알루미늄을 삽입하여 새로운 바이폴라 플레이트를 제작하였다. 이 바이폴라 플레이트는 무인항공기에 적용하고자 하는 고분자 전해질 연료전지의 성능을 높이면서 상대적으로 총 무게를 줄일 수 있을 것이라 기대한다. 이 연구에서

는 감광유리 바이폴라 플레이트에 대한 제작 공정을 확립하였다. 차후 전도체로서 알루미늄을 적용 후, 기존의 흑연 바이폴라 플레이트와 성능 비교를 통해 실질적인 적용 가능성을 검토할 예정이다.

후 기

이 연구는 '08년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.(No. R0A-2007-000-20065-0)

참고문헌

- [1] 김태규, 심현철, 권세진, 2007, “무인기 동력원을 위한 연료전지 시스템의 설계 및 성능 시험”, 군사과학기술학회, p282
- [2] James Larminie, Andrew Dicks, 2003, "Fuel Cell Systems Explained", John Wiley & Sons, Inc, pp.94-97
- [3] William D. Callister, Jr., 2006, "Fundamentals of Materials Science and Engineering", John Wiley & Sons, Inc. pp.475-524
- [4] T. R. Dietrich, W. Ehrfeld, M. Lacher, M. Kramer, B. Speit, 1996, "Fabrication technologies for microsystems utilizing photoetchable glass", Microelectronic Engineering Vol. 30 497-504, p498