

소형 정찰 UAV를 위한 연료전지 금속 분리판의 성능 평가

김기인* · 이종광* · 권세진**

The Performance Evaluation of Metallic Bipolar Plates of Fuel Cells for a Small Reconnaissance UAV

Kiin Kim* · Jongkwang Lee* · Sejin Kwon**

ABSTRACT

The performance of aluminum bipolar plates was evaluated for the lightweight fuel cell system as a power source for a small reconnaissance UAV. Higher performance per weight was obtained from aluminum bipolar plates than the graphite bipolar plates. To check the influence of operating temperature, the performance of a single cell using aluminum bipolar plates was evaluated at 40 / 50 / 60 °C. When dry hydrogen and air were used, the finest performance was obtained at 40 °C, a lower operating temperature compared with usual operating temperatures.

초 록

소형 정찰 UAV의 새로운 동력원으로 적용하고자 하는 연료전지 시스템의 경량화를 위한 연구로 알루미늄 분리판의 성능을 측정하였다. 흑연 분리판과의 성능 비교를 통해 알루미늄 분리판이 흑연 분리판에 비해 무게 대비 높은 성능을 보이는 것을 확인하였다. 작동온도에 따른 성능 변화를 확인하기 위해 40 / 50 / 60 °C의 작동온도에서 알루미늄 단위 전지의 성능을 측정한 결과 건조한 반응기체의 경우 일반적인 작동온도 보다 비교적 낮은 40 °C에서 가장 좋은 성능을 보이는 것을 확인하였다.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle(무인기), Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell(고분자 전해질막 연료전지), Bipolar Plate(분리판)

1. 서 론

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 활용 영역이 민간 및 군사 분야에서 점차적으로 확대되어

감에 따라, UAV에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 기존의 동력원인 내연기관이나 2차 전지와 전기모터의 조합이 지니고 있는 진동, 소음, 낮은 효율 등의 문제점을 해결하기 위해 UAV의 새로운 동력원으로 연료전지를 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다[1].미 해군 연구소, 조지아 텍, KAIST 등의 연구기관은 다른 연료전지에 비해 작동온도가 낮고, 전류 밀도 및

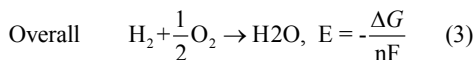
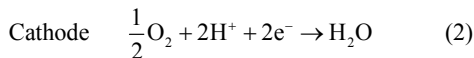
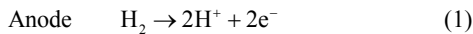
* KAIST 항공우주공학과

* KAIST 기계기술연구소

** KAIST 항공우주공학과

연락처, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

출력 밀도가 크며, 상대적으로 시동시간이 짧은 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)를 동력원으로 선정하였다[2-4]. 고분자 전해질막 연료전지는 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 전기 에너지를 생성하는 장치로 전해질막, 전극, 기체 확산층, 분리판으로 구성되어 있다. Eq. 1~3과 같이 단위 전지에서 생성되는 전기에너지는 전체 반응식의 ΔG 와 같으며, 소형 UAV를 운용할 수 있는 수준의 동력을 생성하기 위해서는 각각의 단위 전지들을 직렬로 연결하여 하나의 스택(stack)을 형성해야만 한다.



분리판(bipolar plate)은 연료전지 스택의 전체 질량의 80% 이상을 점유하고 있다[5, 6]. 분리판은 단위 전지에서 발생하는 전하를 인접하는 전지에 전달해 주고, 반응 기체를 공급하는 채널을 형성해 주는 등의 역할을 수행하며 일반적으로 흑연이 사용되고 있다. 그러나, 흑연은 다공성 물질이므로 반응 기체들간의 혼합을 막고 적절한 강도를 유지하기 위해서는 전체 분리판의 두께가 두꺼워지며 무게가 증가하게 되므로, 소형 정찰 UAV의 동력원으로 사용할 경우 임무수행을 위한 다양한 장비의 탑재에 제약을 받게 된다. 그러므로, 이 연구는 연료전지를 동력원으로 적용한 소형 정찰 UAV의 유효 탑재량을 증가시키기 위해 알루미늄 분리판을 제작하고, 그 특성 평가를 하는데 그 목적이 있다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

비교 평가를 위해 알루미늄 분리판과 흑연 분리판을 제작하였다. 분리판의 크기는 4.4 cm × 4.4 cm이며, 반응면적은 3.2 cm × 3.18 cm이다. 분

리판의 두께는 흑연 분리판이 2.5 mm, 알루미늄 분리판이 2 mm이다. 유로는 반응기체의 원활한 공급을 위해 사형(serpentine)으로 가공하였으며, 유로의 폭은 1 mm로 가공하여 연료전지 작동 중 발생하는 물방울이 통로에 부착되지 않도록 제작하였다. 연료전지의 성능평가를 위해 전극은 ETEK사의 ELAT® 0.5 mgPt/cm²인 탄소섬유 종이를 사용하였으며, 전해질막은 Dupont사의 Nafion® 112를 사용하였다. 끝 판(end plates)은 알루미늄으로 제작하였으며 전체 크기는 6 cm × 6 cm이다.

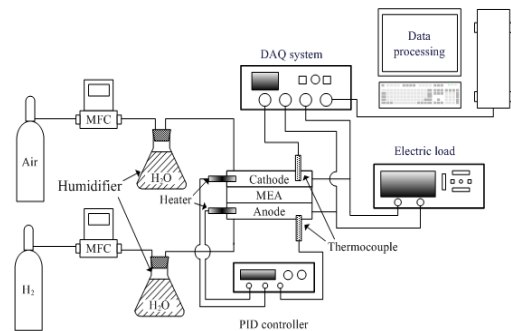


Fig. 1. Schematic of experimental set-up

Figure 1은 연료전지의 성능을 측정하기 위한 실험장치의 개략도이다. 연료극에는 99.9%의 수소를, 공기극에는 별도의 고압 실린더에 저장된 공기를 사용할 수 있도록 제작하였다. MFC를 통해 조절된 수소와 공기는 기포형(bubble type) 가습기를 통하여 연료전지로 공급되며, 연료전지의 성능은 전자 부하장치와 데이터 기록장치를 이용하여 1 Hz로 전류와 전압 측정을 통해 평가하였다. 전지의 작동온도는 PID 제어 방식으로 끝 판 내에 삽입된 히터와 연계하여 조절하였다.

2.2 실험 방법 및 조건

흑연과 알루미늄 분리판의 특성 비교를 위해 공기 채널형 방식을 이용하여 연료전지의 성능을 평가하였으며, 작동온도에 따른 성능 변화를 측정하기 위해 40 / 50 / 60 °C의 작동온도에서 알루미늄 분리판을 이용한 연료전지의 성능을 측정하였다. 연료극과 공기극의 입구에서의 상대

습도는 25 °C에서 100%이며, 반응물의 유량은 Eq. 4와 5에서 300 mA/cm²의 전류 밀도를 기준으로 수소와 공기에 대하여 화학양론비 λ = 3을 적용하여 결정하였다.

$$\dot{m}_{H_2} = \lambda \frac{\rho A}{2F} M_{H_2} (g/s) \quad (4)$$

$$\dot{m}_{air} = \lambda \frac{\rho A}{0.21 \times 4F} M_{air} (g/s) \quad (5)$$

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 흑연과 알루미늄 분리판의 성능 비교

Figure 2는 40 °C의 작동온도에서 측정된 흑연과 알루미늄 분리판의 성능이다. 개회로 전압(OCV, Open Circuit Voltage)은 0.95 V 이상을 보였으나, 알루미늄 분리판의 성능이 흑연 분리판에 비해 18% 이상 증가하였음을 확인하였다. 이는 흑연이 알루미늄에 비해 비교적 강도가 낮아서 적절한 체결압을 가할 수 없고, 기체 투과성이 높기 때문에 반응기체의 누출이 발생한 것으로 예상된다.

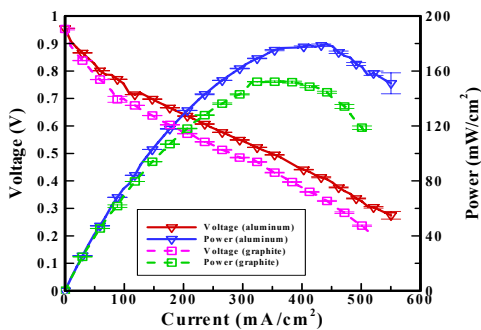


Fig. 2. Performances of graphite and aluminum bipolar plates

3.2 작동온도에 따른 성능 평가

Figure 3과 4는 알루미늄 분리판을 이용한 단전지에서 운전 온도가 성능에 미치는 영향을 평가한 결과이다. 각 온도에서의 개회로 전압은 0.95 V 이상을 보였다. 일반적으로 연료전지가

60 °C에서 가장 높은 성능을 보이는데 반해 이 연구에서는 40 °C에서 가장 높은 성능이 나왔으며, 온도가 높아질수록 성능이 저하되는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 전지 내에서의 상대습도의 영향으로, 건조한 수소와 공기를 공급할 경우 작동온도가 높아질수록 전해질막이 건조해지면서 수소 이온 통로가 충분히 확보되지 못하기 때문에 발생된다.

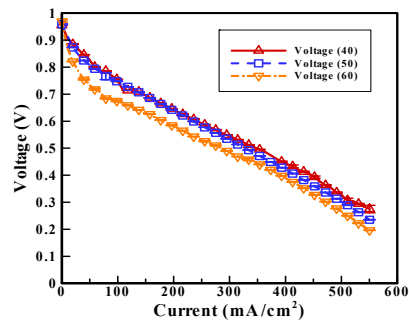


Fig. 3. Voltage changes with operating temperatures for an aluminum cell

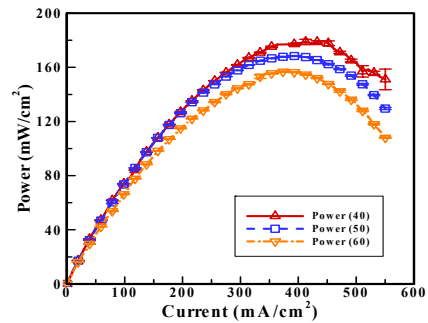


Fig. 4. Power changes with operating temperatures for an aluminum cell

전류밀도를 높일수록 반응 중에 발생하는 열에 의한 전지의 작동온도의 변화를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. Fig. 5는 30 °C의 작동온도에서 10 mA/cm² 단위로 전류밀도를 증가시키면서 5시간 동안 측정된 결과이다. 100 mA/cm² 이하의 낮은 전류밀도에서는 초기의 작동온도를 유지하였으나, 이후 전류밀도를 높일수록 반응이

활발해지면서 전지의 온도가 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

후 기

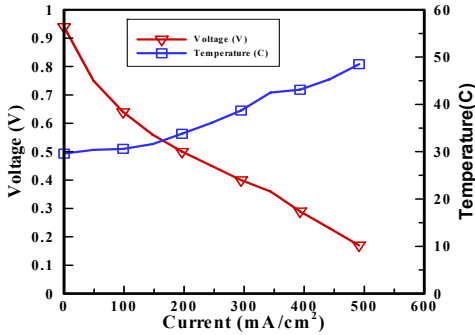


Fig. 5. Cell temperature vs. current density for a single cell

4. 결론 및 향후 계획

이 연구에서는 소형 정찰 UAV의 새로운 동력원으로 적용하고자 하는 연료전지 시스템의 경량화를 위해, 기존의 흑연 분리판을 대체할 수 있는 알루미늄 분리판에 관한 실험을 수행하였다. 제작된 알루미늄 분리판과 흑연 분리판의 성능을 비교하였으며, 작동 온도에 따른 알루미늄 단위 전지의 성능을 평가하였다. 그 결과 알루미늄 분리판이 기존의 흑연 분리판에 비해 18% 이상 성능이 향상 되었으며, 작동온도에 따른 성능 평가를 통해 건조한 수소와 공기를 이용할 경우 연료전지의 최적 작동 온도보다 상대적으로 낮은 온도에서 최상의 성능을 발휘함을 알 수 있었다. 그러나, 반응열에 의한 온도 상승으로 각각의 작동온도에서의 정확한 성능 측정은 제한 되었으므로, 작동온도를 유지시킬 수 있는 추가적인 냉각시스템의 적용 후 성능을 평가할 필요성이 있다.

이 논문은 한국과학재단 국제협력연구사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 전합니다. (F01-2007-000-10136-0)

참고 문헌

1. 김태규, 심현철, 권세진, "무인기 동력원을 위한 연료전지 시스템의 설계 및 성능 시험," 군사과학기술학회, 2007, p282
2. NEWS, "Hydrogen fuel cells power Georgia Tech UAV", Fuel Cell Bulletin, Vol.2006, No.10, pp.9-10
3. NEWS, "Horizon's hydrogen-powered UAV breaks distance record", Fuel Cell Bulletin, Vol.2008, No.1, pp.4-5
4. 김태규, 심현철, 권세진, "연료전지를 동력장치로 하는 Blended Wing Body UAV", 한국항공우주공학회 '07 춘계학술대회, 2007
5. A. Hermann, T. Chaudhuri, P. Spagnol, "Bipolar plates for PEM fuel cells : A review", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, 2005, pp.1297-1302.
6. A. S. Woodman, E. B. Anderson, K. D. Jayne, M. C. Kimble, "Development of Corrosion - Resistant Coating for Fuel Cell Bipolar Plates", AESF SUR/FIN '99 Proceedings, 1999.
7. 조영일, 남기석, "고분자 연료전지 공학 : 이론과 실제", (주)복스힐, pp.75-111