

수소 발생기를 포함한 마이크로 PEM 연료전지 시스템

**김대중¹⁾, L. Zhu²⁾, M. A. Shannon³⁾, R. I. Masel²⁾

A Micro PEM Fuel Cell System Including a Hydrogen Generator

**Daejoong Kim, L. Zhu, M. A. Shannon, R. I. Masel

Key words : Micro fuel cells(마이크로 연료전지), Hydrogen generation(수소 발생기), Chemical hydride(화학적 하이드라이드)

Abstract : 본 논문은 미 일리노이 주립대 어바나-샴페인 캠퍼스에서 주로 군사용 응용 관련하여 개발 중인 마이크로 PEM 연료전지 시스템 개발에 대한 논문이다. 본 연구는 수소 저장 장치까지 포함하여 1 mm³의 초소형 연료전지 시스템을 목표로 진행 중이며 본 논문은 이러한 진행 과정 중 화학적 하이드라이드 기반의 수소 발생기와 10 mm³의 시스템 개발 과정에 대해 보고한다.

본 논문은 초소형 인지 동물형 로봇 (cognitive anthropod), 초소형 정찰용 무인 비행기 (UAV), 피부 내 약물전달 장치 (subdermal drug delivery), 휴대형 센서 (portable sensor) 등 다양한 군사용 목적을 주로 하여 미국 일리노이 주립대 어바나-샴페인 캠퍼스에서 진행되는 마이크로 연료전지 시스템 연구의 진행에 관해 보고한다. 특히 본 논문의 제1저자가 위 기관에 박사후 연구원으로 재직 중 주로 수행하였던 수소 발생기 개발과 관련하여 발표한다.

하지만 보고된 사례가 거의 전무하다. 다른 후보 동력원과 비교하여 연료전지는 (배터리와 비교하여) 에너지 밀도 측면이나 (슈퍼커패에 비교하여) 작동 시간 측면에서 유리하여 연료전지를 동력원으로 선택하여 연구하게 되었다.

그림1은 현재 최종적으로 개발하고자 하는 시스템의 개념도이다. 시스템의 가장 아래에는 Nafion으로 코팅되어 있는 다공성 실리콘 기반의 PEM 연료전지¹⁾가 위치하고 그 바로 위에는 수소 발생을 제어하는 제어층이 자리하고 있다. 전체 시스템에서 가장 부피를 많이 차지하는 부분은 분말 상태의 화학적 하이드라이드 (chemical hydride) 형태로 저장되어 있는 수소 저장소와 가수 반응 (hydrolysis)²⁾에 필요한 수용액 저장소를 포함한 수소 발생기이다. 전체 4년반 기간 동안 진행될 프로젝트의 주요한 최종 목표치는 다음과 같다. 단위 반응물 당 수소 발생량: 1000 mm³H₂/mm³reactant, 에너지 저장 밀도: 1000 W/l, 전기 전력 밀도: 1000 Wh/l.

본 논문의 제1저자는 표1의 다양한 수소 발생 반응을 그림2에서와 같은 마이크로 반응기와 실험 장비를 이용하여 연구하였다. 이와 같은 화학적 하이드라이드의 가수 분해에 의한 수소 발생

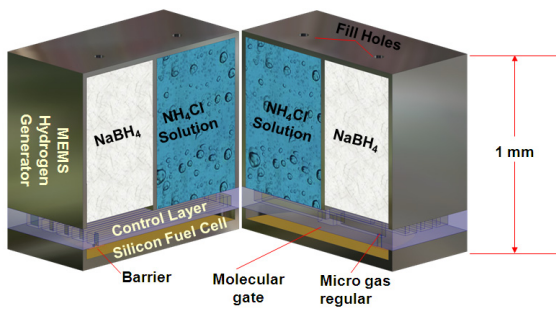


Fig. 1 미 일리노이 주립대 어바나-샴페인 캠퍼스에서 현재 개발 중인 수소 발생기를 포함한 마이크로 PEM 연료전지 시스템 개념도

본 연구를 통하여 최종적으로 1 mW 정도의 전력을 생산할 수 있으며 수소 발생기나 저장소를 모두 포함하여 전체 크기가 1 mm³를 넘지 않는 연료전지 시스템을 제작하고자 한다. 이 정도의 전력과 크기의 마이크로 동력원으로 가능한 형태는 배터리나 슈퍼커패 (super-capacitor) 정도가 가능

1) 서강대학교 기계공학과
E-mail : daejoong@sogang.ac.kr
Tel : (02)705-8644 Fax : (02)712-0799
2) Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign
3) Department of Mechanical Science and Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign

Table 1 본 논문에서 연구된 가수 분해 반응들

Hydrolysis reactions	Hydrogen production (mm ³ / mm ³)	Volume expansion volume of byproducts / volume of hydride	Hydrogen production with volume expansion (mm ³ / mm ³)
LiBH ₄ + 4 H ₂ O → H ₂ BO ₃ + LiOH + 4 H ₂	934	178%	747
LiAlH ₄ + 4 H ₂ O → Al(OH) ₃ + LiOH + 4 H ₂	863	117%	815
NaAlH ₄ + 4 H ₂ O → Al(OH) ₃ + NaOH + 4 H ₂	846	118%	788
CaH ₂ + 2 H ₂ O → Ca(OH) ₂ + 2 H ₂	843	150%	706

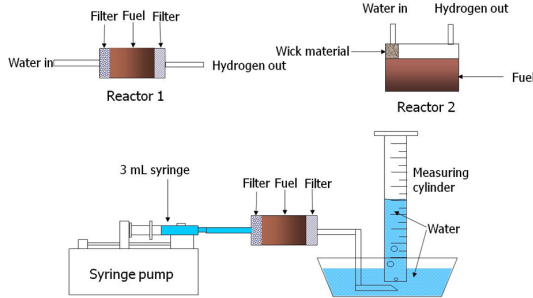


Fig. 2 수소 발생 반응을 위한 두 가지 형태의 마이크로 반응기와 단순화된 수소 발생 실험 장비

은 오래 동안 연구되어 왔으나² 본 연구가 다른 점은 반응에 의한 전체 부피 변화가 반응 자체에 끼치는 영향이 고려됐다는 점이다. 부피의 변화는 특히 최종적으로 1 mm³의 연료전지 시스템 구축에 최종 목표를 두고 있는 본 연구나 여타 마이크로 화학 시스템 (micro chemical system) 성능에 중요한 인자가 된다.

본 논문에는 보고되지 않은 NaBH₄나 LiBH₄을 이용한 실험에서 가수 분해에 따른 부피 변화가 심하고 (향후 마이크로 연료전지 시스템의 기계적 성질에 악영향을 끼칠 것으로 예상) 또한 최종 반응물이 비침투성 고체가 되어 수용액의 공급을 막아서 전체적인 수소 발생 수율이 70% 미만으로 낮아짐을 발견하였다. 그리하여 본 연구에서는 표1과 같은 부피 변화와 수소 발생량을 주요 지표로 삼아 CaH₂, LiAlH₄을 주 반응물로 선택하여 실험을 수행하였고 그 결과는 표2와 그림 3과 같다. CaH₂로는 거의 100%의 수율을 얻었고 프로젝트의 주요 성능치인 단위 반응물 당 수소 발생량은 830 mm³H₂/mm³로 최종 목표치인 1000에 근접한 결과를 얻었다. LiAlH₄로는 90%의 수율로

Table 2 두 가지 수소 발생기 실험 결과

	CaH ₂ (≥97%)			LiAlH ₄ (≥95%)	
	Reactor1	Reactor2	Reactor3	Reactor1	Reactor2
Volume of the reactor (μL)	56	200	5	56	200
Yield	99.7%	99.8%	80.5%	89.8%	99.6%
Volume density (mm ³ H ₂ / mm ³ reactants)	828.7	830.6	678.6	761.4	844.3
Volume density with byproducts volume expansion	695.9	698.0	614.6	714.6	792.5

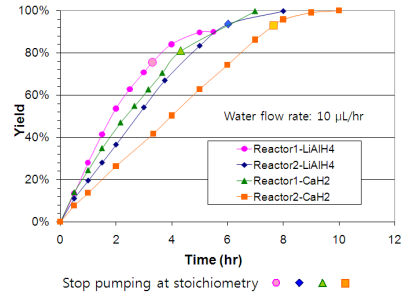


Fig. 3 CaH₂, LiAlH₄에 대해 두 가지 발생기를 이용한 실험에서 시간에 따른 수소 발생 수율

약간 낮았으나 수소 발생량으로 844 mm³H₂/mm³를 얻었다. 그림1의 reactor1과 CaH₂로 된 마이크로 반응기를 별도의 연료전지에 연결하여 이루어진 실험에서 연료 이용률은 85%에 다다랐다.

이러한 연구를 통하여 분말 상태의 화학적 하이드라이드를 이용한 수소 발생기는 전체 연료전지 시스템에서 요구되는 사항을 대체로 충족함을 발견하였다. 같은 과제 내의 다른 팀에 의해 독립적으로 진행되었던 실리콘 베이스 연료전지와 집적하여 전체 연료전지 시스템을 연구 중에 있다.

References

- [1] K. L. Chu, M. A. Shannon, R. I. Masel, 2006, "An Improved Miniature Direct Formic Acid Fuel Cell Based on Nanoporous Silicon for Portable Power Generation," J. Electrochem. Soc., Vol. 153, No. 8, pp. A1562-A1567.
- [2] L. Zhu, D. Kim, M.A. Shannon, and R.I. Masel, 2007, Proceedings of 234th American Chemical Society National Meeting & Exposition, #FUEL0271.

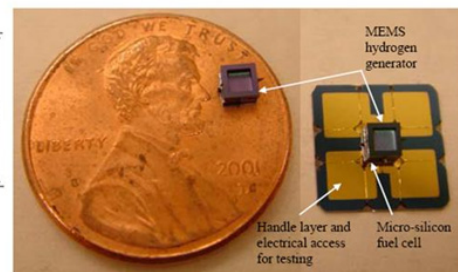
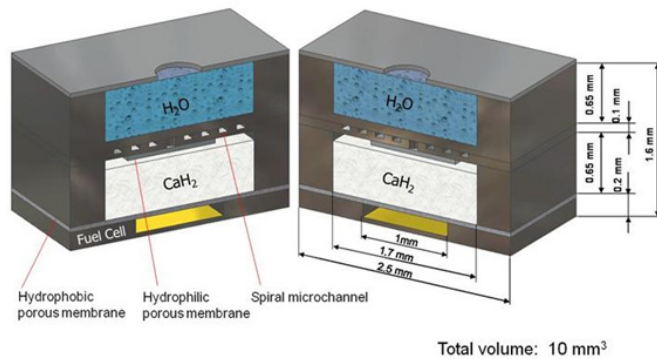


Fig.4 제1차 견본으로 실제 제작된 수소 발생기를 포함한 10 mm³ 크기의 연료전지 시스템의 개념도와 그 직접 사진 (현재까지 최대 성능은 에너지 밀도 60-100 Wh/l와 전력 밀도 5-16 W/l로 그 향상이 요구됨)