

공기 불요 연료전지 동력 시스템

김태규*

Air-independent Fuel Cell Power System

Taegy Kim*

ABSTRACT

An air-independent propulsion (AIP) system based on fuel cell technologies was developed for space and underwater applications in the present study. Hydrogen peroxide was selected as an oxidizer for space and underwater power applications where air independence is a must. Catalytic decomposition of hydrogen peroxide was used to generate oxygen and water. The pure oxygen was provided to a fuel cell and the water was stored separately. Sodium borohydride in the solid state was used as a hydrogen source in the present study. Pure hydrogen can be generated by a catalytic hydrolysis reaction. A fuel cell system was fabricated to validate the fuel cell based air-independent power system and was evaluated at the various conditions.

초 록

본 연구에서는 우주 및 수중 동력원을 위한 연료전지 기반 공기 불요 추진 시스템을 개발하였다. 공기 불요 동력 시스템을 위해 과산화수소를 산화제로 선택하였고, 촉매 분해 반응을 통해 산소와 물을 발생하였다. 순수한 산소는 연료전지에 공급되고, 물은 분리한 후 저장된다. 본 연구에서는 고체 상태의 수소화붕소나트륨을 수소원으로 사용하였고, 촉매 가수분해 반응을 통해 순수한 수소를 발생할 수 있었다. 연료전지 기반 공기 불요 동력 시스템을 검증하기 위해 연료전지 시스템을 구축하였고 다양한 조건에서 평가를 수행하였다.

Key Words: Fuel cell(연료전지), Air-independent propulsion(공기불요추진), Hydrogen peroxide(과산화수소), Sodium borohydride(수소화붕소나트륨)

1. 서 론

Air-independent propulsion (AIP)는 대기 중

공기에 의존하지 않는 추진체계를 일컫는 것으로 기존 디젤 잠수함의 잠항시간을 연장시키기 위한 추진체계이다. AIP 추진 방식으로 String 엔진, MESMA 엔진, CCD 엔진의 경우 잠항심도의 한계 및 적외선 스텔스 등의 문제가 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 독일의 212A급과

* 조선대학교 항공우주공학과
연락처, E-mail: taegy@chosun.ac.kr

214급 잠수함, 러시아의 S-273과 SKBK 잠수함, 캐나다의 XDM과 ADM 잠수함 등은 PEM (Polymer Electrolyte Membrane) 연료전지를 추진 장치로 탑재하였다.

잠수함뿐만 아니라, 우주 동력원으로도 연료전지가 활용되었다. NASA에서는 태양전지와 RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator) 외에 Gemini와 Apollo 프로그램에서 연료전지를 동력원으로 개발하였다. 원래 연료전지는 우주개발에서 먼저 실용화된 기술로써, 에너지 변환 과정에서 발생된 부산물은 깨끗한 물밖에 생성되지 않아 우주선의 전원으로 이상적이라는 사실이 입증되면서 개발에 박차를 가하게 되었고, 생성된 물은 우주인의 음료로도 사용이 가능한 장점이 있다.

연료전지는 기본적으로 수소 연소반응과 동일한 화학반응을 가지지만 전기화학적 에너지 변환과정을 통해 수소의 화학에너지를 직접 전기 에너지로 변환하는 장치이다. 따라서 효율이 높고, 일정한 전력을 공급한 후 수명을 다하는 종래의 배터리와는 달리 연료가 공급되는 한 지속적으로 전력을 공급할 수 있는 발전기이다.

Figure 1에 열역학적 효율을 보더라도 연료전지는 Carnot cycle에 지배받지 않기 때문에 낮은 온도에서 높은 효율을 갖는 것을 알 수 있으며, 낮은 온도에서 작동하기 때문에 잠수함의 경우 적외선 스텔스의 문제도 없다.

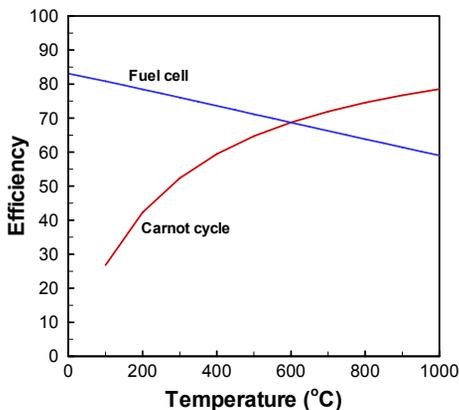


Fig. 1 Thermodynamic efficiency of a fuel cell and carnot cycle

연료전지의 개발에 있어 가장 큰 걸림돌은 연료전지의 연료인 수소를 안전하게 저장하고 취급하는 것이다. 일반적으로 수소를 저장하는 방법으로는 고압 수소 저장 방법, 액화 수소 저장 방법, 금속 수소화물, 연료 개질 방법 등이 있으나 이런 방법들은 저장 밀도, 안정성, 재충전 등의 문제점이 있다. 기존의 액화수소, 압축수소를 주로 사용한 연료전지 잠수함과 우주 연료전지 시스템의 경우 시스템의 부피 및 무게가 줄이는 것이 가장 시급한 기술적 난제이다.

본 연구에서는 고체상태의 수소화붕소나트륨을 수소원으로 사용하고 과산화수소를 산화제로 사용하는 공기 불요 연료전지 시스템을 개발하였다.

2. 연료전지 시스템

2.1 공기 불요 연료전지 시스템 개념

Figure 2는 본 연구에서 제안하는 공기 불요 연료전지 시스템의 개념을 보여주고 있다. 시스템은 고체 수소화붕소나트륨, 과산화수소, 연료전지로 구성된다. 과산화수소를 분해반응을 통해 물과 산소를 발생시키고, 수소화붕소나트륨 가수분해반응을 통해 수소를 발생한다. 발생된 수소와 산소 가스는 연료전지에 공급되어 전기를 만들게 되고, 생성된 물은 가수분해 및 냉각에 사용되거나 따로 저장하게 된다.

2.2 수소화붕소나트륨 수소발생장치

수소화붕소나트륨은 상대적으로 높은 수소 함

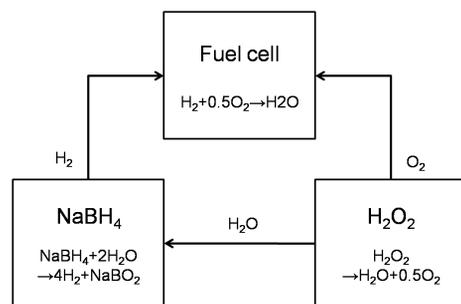


Fig. 2 Concept of a air-independent fuel cell system

량을 가지고 있고, 안정한 물질이며, 불연성의 알칼리 용액으로 가수분해 반응의 제어가 용이하고, 친환경적이며 재생 가능한 연료로 기존의 수소 저장방식을 대체할 수 있는 새로운 대안으로 연구되고 있다. 알칼리 수소화붕소나트륨 연료의 수소 발생 과정은 다음과 같다 [1].



루테늄(Ru), 백금(Pt), 코발트(Co) 등의 촉매를 통해 빠른 수소 발생이 가능하고 생성된 수소의 순도가 높으며 반응 제어가 용이한 장점이 있다.

본 연구에서는 고체상태로 저장된 수소화붕소나트륨에 액상촉매를 분사하여 수소 발생 실험을 수행하였다. 수소화붕소나트륨은 1 g이었으며 0.1 M Co(NO₃)₂ 촉매 용액을 2 ml 분사하였다.

2.3 과산화수소 분해반응기

과산화수소는 LOX를 대체하기 위한 산화제로 잠수함 및 로켓 등에서 널리 이용되어 왔다. 본 연구에서는 연료전지의 산화제 및 수소화붕소나트륨 가수분해반응을 물을 공급하기 위해 과산화수소 분해반응을 수행하였다. 과산화수소를 분해하기 위해 Pt/γ-Al₂O₃를 사용하였고 과산화수소 농도는 90%였고 공급 유량은 150 ml/h였다. 실험은 반응기의 냉각 유무에 따라 각각 수행되었다.

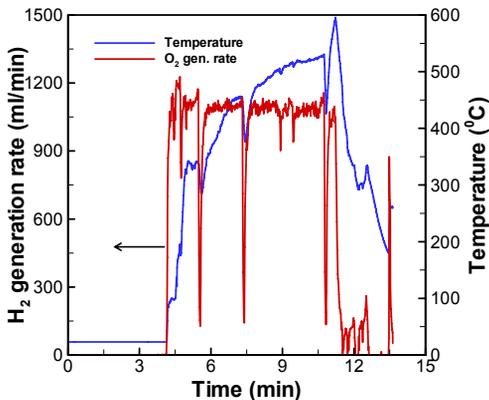


Fig. 3 Hydrogen generation rate and temperature as a function of reaction time

3. 실험결과 및 토론

3.1 수소발생 및 반응온도

Figure 3은 반응시간에 따른 수소발생율과 반응온도를 보여주고 있다. 수소화붕소나트륨에 촉매용액이 분사된 후 반응온도가 서서히 상승하면서 수소발생율도 증가하였다. 반응시간이 17분 경과된 후 반응온도가 급격히 상승하면서 수소발생율도 급격히 증가하였다. 이것은 시간이 지나면서 수소화붕소나트륨이 물에 충분히 용해되었고 반응온도가 50 °C를 넘으면서 반응율이 급격히 상승한 결과로 판단된다. 실험결과 30분 동안 발생한 수소의 양은 4,154 ml였다.

3.2 산소발생 및 반응온도

Figure 4는 과산화수소 반응기의 시간에 따른 산소 발생율과 반응온도를 보여주고 있다. 반응이 시작된 후 순간적으로 산소발생율과 반응온도가 급격히 상승됨을 알 수 있다. 반응 후 일정한 산소발생율이 지속되는 반면 반응온도는 꾸준히 상승하여 최대 600 °C에 도달하였다. 이는 시스템 패키징에 문제를 발생시킬 뿐만 아니라 잠수함의 경우 고온으로 인한 적외선 스텔스 문제를 발생시킬 수 있다. 반응온도를 80 °C로 냉각시킨 상태에서 실험을 수행하였다. Figure 5는 냉각조건에서 과산화수소 반응기의 실험결과이다.

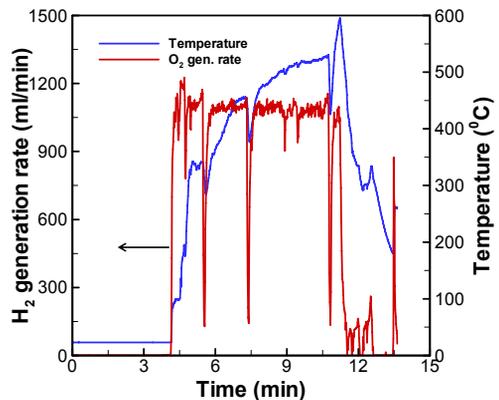


Fig. 4 Oxygen generation rate and temperature as a function of reaction time

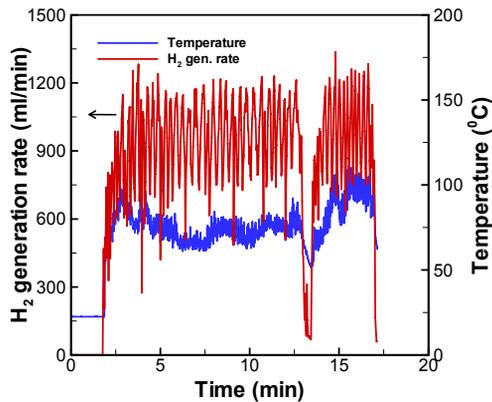


Fig. 5 Experimental results of hydrogen peroxide decomposition with reactor cooling

반응온도가 80 °C로 냉각된 상태에서도 동일한 산소발생율을 보이는 것로부터 촉매가 낮은 온도에서도 우수한 분해성능을 갖는 것을 알 수 있다. 하지만 냉각을 하지 않는 상태에 비해 산소발생율의 맥동현상이 두드러짐을 알 수 있었다. 이는 반응기가 냉각됨에 따라 촉매와 과산화수소 간의 열전달 특성에 따른 현상으로 판단된다.

3.3 연료전지 성능평가 결과

Figure 6은 연료전지의 성능곡선을 공기를 공급했을 경우와 과산화수소 분해를 통해 생성된 산소를 공급했을 경우에 대해 각각 나타내었다. 동일한 온도조건에서 비교하기 위해 과산화수소 분해 후 생성된 산소의 온도를 공기와 동일하게 냉각한 후 연료전지에 공급하였다. 공기를 공급한 경우보다 산소를 공급했을 때 연료전지의 전압 및 출력이 6 A의 전기부하 시 각각 11%, 12% 높았다. 이는 공기는 질소에 의해 산소가 희석되는 효과있는 반면 과산화수소를 분해한 후 생성된 가스는 100% 산소이기 때문이다. 미량의 과산화수소 증기가 함께 공급될 수 있으나 연료전지의 공기극 촉매 상에서 모두 분해됨으로 연료전지 성능에 영향을 주지 않음을 확인하였다.

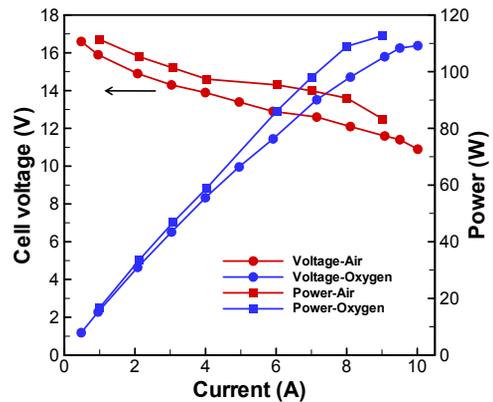


Fig. 6 Fuel cell performance curve as air and oxygen supply condition

4. 요약 및 결론

우주 및 수중 동력원을 위한 연료전지 기반 공기 불요 추진 시스템 개발을 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다.

1. 고체상태의 수소화붕소나트륨에서 촉매용액을 분사하여 수소 발생 특성을 확인하였다.
2. 과산화수소를 분해하여 산소발생율을 측정하였고 냉각조건에서도 성능저하가 없음을 확인하였다.
3. 과산화수소 분해를 통해 생성된 산소로 연료전지를 구동 시 12%의 출력향상 효과를 보였다.

참고 문헌

1. 김태규, 이기성, 권세진, “연료전지 무인 항공기 설계 및 시험 결과,” 항공우주공학회 2009년도 춘계학술대회 논문집, 2009, pp.508-11