

# 연료전지 UAV의 친환경 추진 시스템을 위한 통합형 수소 공급 시스템 연구

이충준\* · 김태규\*\*†

## The study of integrated hydrogen supply system for environment friendly propulsion systems of fuel-cell UAV

Chung Jun Lee\* · Taegy Kim\*\*†

### ABSTRACT

This paper describes the study of integrated hydrogen supply system for environment friendly propulsion systems of fuel-cell UAV. Diluted hydrochloric acid was used for direct-decomposing solid-state  $\text{NaBH}_4$  and generating hydrogen. Self-hydrogen pressurized reactor and pressure regulator was introduced for stable hydrogen supply. Prototype of integrated hydrogen supply systems using the solid-state  $\text{NaBH}_4$  direct-decomposition was designed for performance evaluation and concept demonstration.

### 초 록

본 논문은 연료전지 UAV의 친환경 추진 시스템을 위한 통합형 수소 공급 시스템 연구에 대해 기술하고 있다. 고체 상태  $\text{NaBH}_4$ 를 직접 분해하기 위해 희석된 염산을 사용하였다. 안정적인 수소 공급을 위해 자체 수소 가압형 반응기와 압력 레귤레이터를 적용하였다. 컨셉 실증과 성능 검증을 위해 고체 상태  $\text{NaBH}_4$ 를 직접 분해하는 통합형 수소 공급 시스템의 시제품을 설계하였다.

Key Words: Fuel-Cell UAV(연료전지 무인기), Hydrogen Supply System(수소 공급 시스템), Solid-State  $\text{NaBH}_4$ (고체상태  $\text{NaBH}_4$ ), Electric Power(전기 동력)

### 1. 서 론

최근 차세대 에너지원으로 수소에 대한 관심이 급증하고 있다. 이러한 움직임은 과거부터 존

재하였으나 폭발 위험성 등으로 인해 실용화에 한계가 있을 것으로 판단되어 왔다. 하지만 최근 고분자 전해질 막 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC)의 등장으로 일상 분야에서의 수소 에너지 활용 가능성이 최근 재 조명 되고 있다.

PEMFC에 수소가 공급되면 백금과 같은 촉매로 인하여 공급된 수소는 이온과 전자로 분리시

\* 조선대학교 항공우주공학과 대학원

\*\* 조선대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: taegy@chosun.ac.kr



Fig. 1 Prototype of integrated hydrogen supply system

키게 되는데 이 과정에서 수소 이온만이 전해질 교환막을 통과할 수 있기 때문에 전자는 외부 회로를 통해 이동하면서 전기를 발생시키게 된다. 따라서 전기 발생으로 인한 폭발 위험성이 매우 낮으며, 중간과정을 거치지 않기 때문에 매우 높은 에너지 효율을 가지기 때문에 다양한 분야의 차세대 에너지원으로의 가능성을 제시하게 된다. 이를 반영하듯이 최근 자동차, 가정용 발전 등에 대한 실용화 연구가 활발하게 진행되고 있는데 항공분야에서도 2006년 Pterosoar 연료전지 무인항공기를 시작으로 다양한 연료전지 무인기에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있는 상태이다.

이러한 시스템에 대한 연료전지 통합 연구 이외에도 수소 저장 및 공급 방법 개선과 같은 B.O.P(Blance of Plant)에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있는데, 이는 시스템 최적화 및 효율 개선을 위한 연구의 일환으로 분류할 수 있으며 최근 활발히 연구되고 있는 대표적인 사례로는  $\text{NaBH}_4$ (Sodium Borohydride, 수소화붕소나트륨) 같은 화학수소화물을 액화저장하고 촉매를 통해 이를 분해하는 방법을 들 수 있다.[1]

하지만, 촉매 제작에는 시간과 비용이 추가로 소모되며 환경 온도와 촉매의 유실에 따른 수소 발생 성능 변화가 발생하게 된다. 또한,  $\text{NaBH}_4$

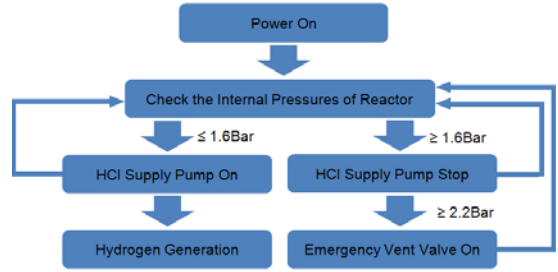


Fig. 2 Basic operation procedure of hydrogen generator

수용액 제조를 위해  $\text{NaOH}$ (Sodium Hydroxide, 수산화나트륨)가 요구되는데 이로 인해 발생된 수소에 다량의 나트륨( $\text{Na}$ , Sodium) 이온이 포함되어 PEMFC의 스택을 오염시키는 문제점을 내포하게 된다.[2]

조선대학교에서는 이러한 문제점을 해결하고 무인항공기에 대한 차세대 동력원에 대한 연구를 위해 고체 상태의  $\text{NaBH}_4$ 를 직접 분해하여 수소를 발생시키는 연구[3]와 이에 따른 수소 공급을 위한 안정화 연구[4]를 수행한 바 있으며, 이러한 연구 내용을 바탕으로 연료전지 구동을 위한 통합형 수소 공급 시스템을 설계하였으며 이를 이용한 연료전지 구동 및 출력 특성에 대한 연구를 다음과 같이 수행하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 통합형 수소 공급 시스템

설계된 통합형 수소 공급 시스템은 Fig. 1과 같으며 크게 수소 발생부와 수소 공급부로 구성되어 있다. 이 시스템의 가장 큰 특징으로는 시스템 경량화 및 구조 단순화를 위해 반응기 내부에 고체 상태의  $\text{NaBH}_4$ 가 저장되며 시스템 구동이 시작되면 이 반응기가 저압 수소 저장 용기와 유사한 역할도 동시에 수행한다는 점을 들 수 있다. 또한 기존과 달리 촉매를 사용하지 않으며 수소 발생부에서는 고체 상태의  $\text{NaBH}_4$ 를 상태 변화 없이 직접 분해시키기 위해 희석된 묽은 염산을 사용하며 Fig. 2와 같은 형태로 반

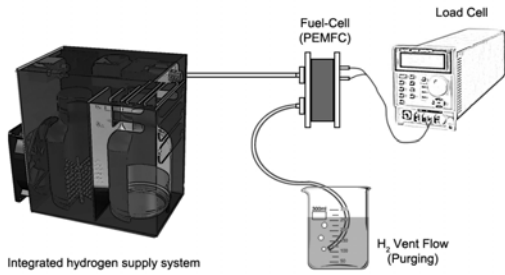


Fig. 3 Apparatus for fuel-cell operation experiments

응기에 공급하게 된다.

## 2.2 연료전지 구동 실험

연료전지 구동 실험은 연료전지 구동에 필요한 수소를 통합형 수소 공급 시스템이 충분히 안정적으로 공급할 수 있는지 여부와 스택의 나트륨 오염을 발생시키는지 여부를 확인하기 위한 형태로 진행하였으며 Fig. 3과 같이 통합형 수소 공급 시스템을 별도의 추가 장비 없이 연료전지에 직접 공급하고 Fig. 4와 같은 부하를 연료전지에 인가한 경우와 고압 수소 저장 용기에서 수소를 공급한 경우에 대한 출력 특성을 비교하였다.

모든 실험은 표준 실험실 조건(25°C, 1 atm)하에서 수행되었으며 연료전지는 약 100W 출력을 생산할 수 있는 PEMFC가 사용되었으며 수소 발생을 위한 NaBH<sub>4</sub>(Granular type, 순도 98% 이상) 삼전화학의 제품을 사용하였다. 또한, 이를 분해하기 위해 Burdick & Jackson의 35% 이상의 진한 염산 수용액을 증류수를 이용하여 3N 농도로 희석하여 사용하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1 연료전지 구동 특성

고압 수소 저장 용기에서 수소를 공급할 경우와 설계된 시스템을 통한 연료전지 구동 특성은 Fig. 5와 같이 나타났다.

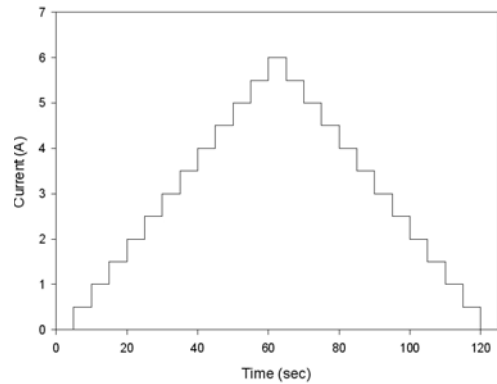


Fig. 4 Load patterns for fuel-cell operation test

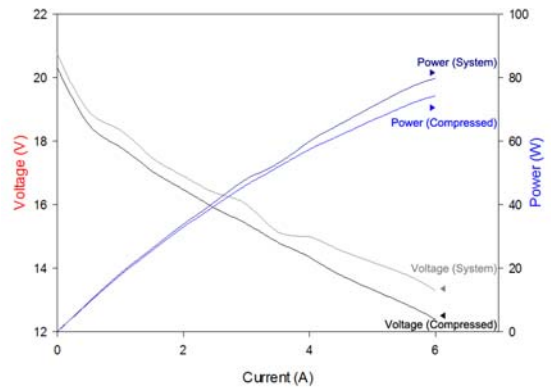


Fig. 5 Characteristics comparison of fuel-cell operation

실험은 전반적인 출력 특성 확인을 위해 5초 간격으로 약 0.5A씩 부하를 서서히 증가시키는 형태로 진행되었지만 이처럼 서서히 부하가 증가하고 감소하는 과정에서 수소 공급 불안정에 따른 출력 강하가 현상은 찾아볼 수 없었으며 전반적인 연료전지 구동 특성에서도 큰 차이가 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다.

이러한 과정에서 시스템은 약 95%의 수소 전환율을 나타냈으며 반응기 내부 수소 압력 및 수소 공급량은 시스템 제어 알고리즘 설계 시 설정한 정상 작동 범위 이내에서 안정적으로 작동하는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 특히 사항으로 연료전지에 인가된 최대 부하 조건인 6A에서 통합형 수소 공급 시스템을 사용한 조건에서 출력은 최대 약 5W 높으

며 전압 강하는 약 1V 적게 발생한 것을 확인할 수 있다. 하지만 이 결과는 별도의 수분 제거 필터 등을 설치하지 않았기 때문에 고체 상태의  $\text{NaBH}_4$ 를 분해하기 위해 사용된 희석된 염산에 포함된 물이 증발하면서 수소와 함께 연료전지에 공급되어 일시적인 가습 효과[5]를 낸 것으로 추정되는 바이며 수분이 지속적으로 쌓여 내부의 압력 강하에 따른 연료전지 출력 저하와 같은 바람직하지 못한 상황을 발생시키지 않기 위한 대책 연구가 필요하다고 판단하는 바이다.

#### 4. 결 론

무인항공기의 차세대 친환경 추진 시스템 연구의 일환으로 항공기의 특성을 반영한 연료전지 시스템의 B.O.P 구성을 위해 통합형 수소 공급 시스템을 연구하였다. 시스템은 고체  $\text{NaBH}_4$ 를 직접 분해하여 수소를 공급하도록 설계하였으며 이를 이용한 연료전지 기초 구동 실험을 수행하였다.

연료전지 기본 구동 실험 결과는 매우 안정적이었으며 수소 발생 시 발생한 증기가 일시적인 가습효과를 만들어 출력이 소폭 상승되는 현상이 관측되었다. 이는 장시간 가동 시 역효과를 나타낼 수 있기 때문에 발생된 수소에서의 수분 제거가 필요하다고 판단된다.

하지만 매우 제한적인 부하 조건만을 확인하였기 때문에 전반적인 구동 안정성 파악을 위해서는 급격한 출력 변화 및 장시간 구동과 같은 다양한 조건에 대한 연구가 추가적으로 요구된다고 판단하는 바이다.

#### 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0013843)

#### 참 고 문 헌

1. Taegy Kim, Sejin Kwon, "Design and development of a fuel cell-powered small unmanned aircraft," *Int. J. Hydrogen Energy*, Volume 37, 2012, pp. 615-622
2. Hyun Jae Kim, et al. "Hydrogen generation from aqueous acid-catalyzed hydrolysis of sodium borohydride," *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 35, Issue 22, November 2010, pp. 12239-12245
3. 이충준, 김태규, "연료전지 항공기를 위한 고체상태  $\text{NaBH}_4$ 의 수소발생 및 연료전지 구동 특성," *한국항공우주공학회지*, Vol. 39, No. 9, 2011, pp. 858-865.
4. 이충준, 김태규, "연료전지 항공기를 위한 고체 상태  $\text{NaBH}_4$  수소 발생기의 수소 유량 제어 및 저온 성능 평가," *한국항공우주학회*, 2011년도 추계학술대회, 2011, pp. 993-998
5. Deryn Chu, Rongzhong Jiang, "Performance of polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) stacks Part I. Evaluation and simulation of an air-breathing PEMFC stack." *Journal of Power Sources*, 83, 1999, pp. 128 - 133