

論文

DOI:10.5139/JKSAS.2011.39.7.627

연료전지 무인기 탑재용 수소발생기의 성능평가

박대일*, 김성욱**, 김동민**, 김태규***

Performance Evaluation of Hydrogen Generator for Fuel Cell
Unmanned Aircraft

Dae Il Park*, Sung Uk Kim**, Dong Min Kim** and Taegyu Kim***

ABSTRACT

Performance of a hydrogen generator for a fuel cell unmanned aircraft was evaluated as the change of temperature environment. Sodium borohydride (NaBH_4) was used as a hydrogen source due to its high hydrogen content and good storability. The hydrogen gas was generated by the hydrolysis reaction using a catalytic reactor. Reaction chambers were set up with the range of temperatures from -20 to 60 °C. The hydrogen generation rate and temperatures changes of reactor and separator were measured at the NaBH_4 concentrations of 20 and 25wt.%. As a result, the hydrogen generation rate was decreased as the repeated reaction cycles. It showed that the hydrogen generation rate was stable at low temperature, while at high temperature the hydrogen generation rate was rapidly decreased. The performance degradation was mainly caused by the catalyst loss and NaBO_2 deposition on the catalyst surface.

초 록

연료전지 무인기 탑재용 수소발생기의 온도환경변화에 따른 성능평가를 수행하였다. 수소 저장 및 발생을 위해 화학수소화물 중 수소함량이 높고 저장성이 우수한 수소화붕소나트륨(NaBH_4)을 연료로 사용하였으며, 촉매를 이용한 가수분해반응을 통해 수소를 발생하였다. 수소발생기의 온도환경변화를 위한 저온 및 고온 챔버를 각각 준비하였으며, 온도범위는 -20°C 에서 60°C 까지 20°C 의 간격으로 설정하였다. 20과 25wt.%의 NaBH_4 용액 농도에서 수소발생기의 수소발생률과 반응기와 분리기의 온도변화를 측정하였다. 수소발생률은 반응주기가 반복될수록 감소하였으며, 저온 환경에서는 높은 수소발생률을 보였지만, 고온 환경에서는 수소발생률이 급격히 감소하였다. 수소발생률의 감소는 촉매유실과 촉매표면의 NaBO_2 도포가 원인으로 확인되었다.

Key Words : Fuel cell unmanned aircraft(연료전지 무인기), NaBH_4 (수소화붕소나트륨), Hydrogen generator(수소발생기), Fuel cell(연료전지)

1. 서 론

연료전지 무인기는 일반적인 내연기관을 사용하는 무인기보다 진동 및 소음이 적고, 연료전지의 높은 에너지 밀도로 인해 2차 전지를 사용하는 무인기에 비해 작동시간이 긴 장점을 가지고

† 2011년 2월 14일 접수 ~ 2011년 6월 9일 심사완료

* 정희원, 조선대학교, 항공우주공학과

** 정희원, 한국항공우주연구원, 항공연구본부

*** 정희원, 조선대학교, 항공우주공학과
교신저자, E-mail : taegyu@chosun.ac.kr
광주광역시 동구 서석동 375

있다. 이러한 장점으로 인해 2003년 에어로바이런먼트(AeroVironment)사가 액체수소를 사용한 연료전지 무인기 시험비행에 성공한 이후, 전 세계적으로 많은 연료전지 무인기들이 개발되고 있다[1-2]. 국내에서도 카이스트와 조선대학교가 액상 화학수소화물을 이용한 연료전지 시스템을 무인기에 탑재하여 시험비행에 성공한 바가 있다[3-8].

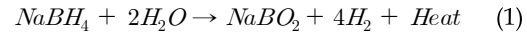
일반적인 소형 무인기의 소형화 및 휴대성을 고려할 때, 고체상태의 전해질과 낮은 작동온도를 갖는 연료전지가 적합하다. 다양한 연료전지 종류에서 이러한 특성을 만족하는 연료전지로는 고분자 전해질 연료전지 (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, 이하 PEMFC)와 직접 메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, 이하 DMFC)가 있다. DMFC는 PEMFC에 비해 낮은 전력밀도를 가지고 있으며, 연료 투과현상으로 인한 성능저하의 문제점이 있기 때문에 PEMFC가 연료전지 무인기에 주로 사용되었다[2].

PEMFC는 넓은 출력범위(1W ~ 100kW), 낮은 작동온도, 시스템의 단순성 등의 장점을 지니고 있다. 하지만 귀금속 촉매인 백금을 사용하므로 일산화탄소 등에 의해 촉매 피독성이 매우 취약하다. 따라서 PEMFC를 이용하기 위해서는 순수한 수소의 공급이 필수적이다[9].

연료전지 무인기에 들어가는 PEMFC에 순수한 수소를 공급하기 위한 방식으로는 압축저장, 액체수소, 탄화수소개질, 금속수소화물, 화학적 수소화물 등이 있다. 압축저장은 700기압의 높은 충전압력, 액체수소는 -252.7°C의 낮은 저장온도로 소형 무인기에 적용하기에는 적합하지 않다. 탄화수소개질은 개질 온도가 높고 부수적인 일산화탄소 처리과정이 필요하기 때문에 시스템이 복잡해지는 문제점이 있다. 금속수소화물은 무겁고 부피가 크기 때문에 연료전지 무인기에 탑재할 경우 높은 에너지 밀도를 기대하기 어렵다[1].

수소함량, 안정성, 경제성, 단순한 수소저장 시스템을 고려할 때, 연료전지 무인기에 적용하기 위한 수소저장방식으로 화학적 수소화물이 가장 적합한 것으로 판단된다. 여러 화학적 수소화물 중에서 수소화붕소나트륨(Sodium borohydride, 이하 NaBH₄)은 10.8%의 상대적으로 높은 수소함량을 가졌으며, 110 kg·H₂/m³의 높은 수소밀도를 지녔다. 또한, 불연성의 알칼리 수용액으로 저장 및 취급이 용이하고, 친환경 연료로써 재사용이 가능하다는 장점 때문에 새로운 수소저장 및 발생 기술로 연구되고 있다[10]. 연료전지 무인기의 운용측면에서, NaBH₄는 고체 혹은 액체 상태

로 존재가 가능하기 때문에 시간과 장소에 구애받지 않고 운송 및 재충전이 가능하다는 장점을 가지고 있다. NaBH₄ 수용액은 아래와 같은 가수분해반응을 통해서 수소를 발생시킬 수 있다[11].



원하는 수소발생률을 얻기 위해서는 위의 가수분해반응을 가속시킬 필요가 있는데, 이를 위해 주로 촉매가 사용된다. 따라서 촉매를 이용한 수소발생기는 일반적으로 NaBH₄ 카트리지, 펌프, 촉매반응기, NaBO₂ 카트리지로 구성된다. 이러한 수소발생기는 촉매화학반응을 통해 수소를 발생한다. 따라서 수소발생특성은 온도, 압력, 진동에 매우 민감하다. 특히 무인기의 경우 고도변화에 따라 온도와 압력이 크게 변화되며, 비행 중 비행체 및 모터에 의한 진동도 매우 심하다.

온도변화는 수소발생률에 직접적으로 영향을 주게 되며, 진동은 촉매 내구성 및 시스템 신뢰성에 문제를 유발할 수 있을 것이다. 무인기는 겨울이나 극지방 혹은 여름이나 사막에서도 운용해야 할 경우가 있는데, 너무 낮은 온도로 인해 수소발생기가 결빙되어 작동이 되지 않거나, 너무 높은 온도로 인해 연료전지 무인기 내부가 과열되면 폭발의 위험성도 있을 수 있다.

기존 수소발생기 연구는 수소발생 성능향상을 위한 촉매개발[14]과 기본적인 반응기 설계연구[12-13]가 주로 이루어졌다. 따라서 이 연구에서는 수소발생기에 가장 직접적으로 영향을 미치는 온도환경의 변화에 대한 수소발생기의 성능평가를 수행하였다.

II. 실험

2.1 수소발생기의 구성

온도환경이 수소발생기에 미치는 영향을 알아보기 위해 먼저 Fig. 1과 같은 수소발생기를 구성하였다. 수소발생장치는 NaBH₄를 공급하기 위한 실린지 펌프와 Co-Ni-P-B/Ni foam촉매와 NaBH₄를 반응시키기 위한 촉매반응기가 있다. 추가로 반응 후 나오는 NaBO₂를 제거하기 위한 NaBO₂ 분리 카트리지와 순수한 수소를 얻기 위해 수증기 제거를 위한 방습제로 이루어져 있다. 촉매 반응기에는 NaBH₄를 가수분해하기 위한 촉매가 삽입되었다. 이 연구에서 사용된 촉매는 Ni foam을 지지체로서 사용하였고, 전처리와 무전해 도금법을 통해 Co-Ni-P-B 촉매를 담지하였으며, 300°C 질소분위기에서 하소시켜 최종적

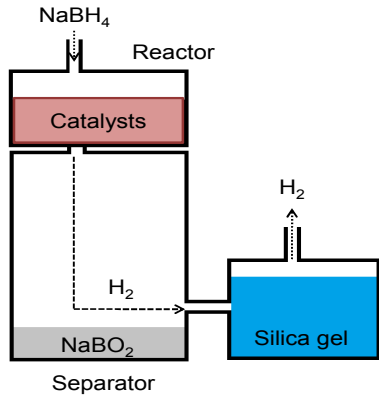


Fig. 1. Schematic of the NaBH₄ hydrogen generator

으로 Co-Ni-P-B/Ni foam 촉매를 제조하였다 [14-15]. NaBH₄ 연료는 5wt.%의 NaOH 수용액에 20wt.%와 25wt.%의 NaBH₄를 각각 용해하여 제조하였다.

2.2 실험장치의 구성

Fig. 2는 온도변화에 따른 수소발생기의 환경 시험을 위한 실험장치의 구성을 보여주고 있다. 수소발생기는 온도환경변화를 위해, 저온시험장비는 산업용 냉동고를 사용하였고, 고온시험장비는 대류오븐을 이용하여 실험을 수행하였다.

각 시험주기마다 50ml의 NaBH₄ 용액을 실린지 펌프를 이용하여 2.9ml/min으로 설정한 후, 1시간 동안 3~4회 지속적으로 공급하였다. 가수분해반응 후 수소와 부산물인 NaBO₂가 발생되고, 이중 NaBO₂는 분리 카트리지에 걸러진다. 이후 방습제를 거쳐 수소가스에 포함된 수증기를 제거한 후 유량계(Omega FMA-1605 : Accuracy ±0.8% of rdg + 0.2% FS, Differential Pressure Type)를 통해 불순물이 제거된 100% 순수한 수

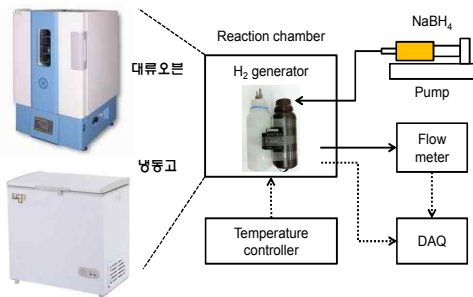


Fig. 2. Experimental setup for performance evaluation of hydrogen generator

Table 1. Experimental conditions

	NaBH ₄ 20wt.%	NaBH ₄ 25wt.%
공급유량	2.9 ml/min	2.3 ml/min
공급방법	50 ml, 3회 주입	
NaOH	5wt.%	
온도범위	-20, 20, 40, 60 °C	
수소유량	1.3 L/min	
작동시간	1 hr	
연료공급온도	상온	
촉매	Co-Ni-P-B/Ni form 5.5g	

소를 측정하였다. 이때 수소발생률과 수소발생기 내부의 온도변화를 관찰하기 위해 대류 오븐과 냉동고, 촉매 반응기 내부와 NaBO₂ 분리기 내부에 온도 센서(Thermocouple, K-Type)를 장착 후, 데이터 기록장치(Personal DAQ Module)를 이용하여 컴퓨터에 저장하였다. 실험조건은 Table 1에서 보듯이 다양한 온도 범위에서 수소 발생기 성능을 평가하였다.

III. 결과 및 토론

3.1 수소발생성능 - 20wt.% NaBH₄

Fig. 3은 20wt.% NaBH₄에서 온도변화에 따른 수소 발생률을 반응주기별로 나타내었다. 1회 반응주기는 약 17분으로 실린지 펌프를 이용하여 50ml의 NaBH₄를 2.9ml/min의 속도로 반응기에 주입시켰다.

1회 반응주기를 분석해보면 -20°C의 경우 반

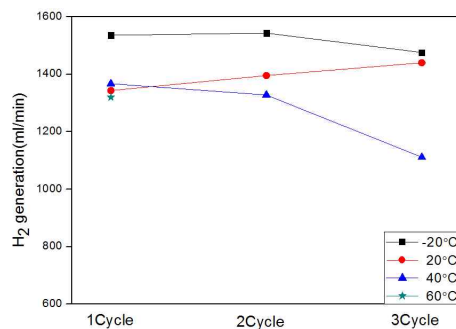


Fig. 3. Hydrogen generation as a function of reaction time at 20wt.% NaBH₄ solution

응이 일어나고 약 1분정도의 시간이 지나서 다량의 수소가 생성 되는 것을 볼 수 있었다. 이는 반응기 내부의 차가워진 촉매를 반응온도까지 올리는데 걸리는 시간이 약 1분정도 걸린다고 볼 수 있다. 하지만 늦은 반응시간에 비해 1회 반응주기가 끝날 때 다른 4가지 온도조건의 수소생성량 차이는 거의 없다고 보인다. 이는 반응은 늦었지만 다른 온도 조건에 비해 더 많은 수소를 생성한다고 볼 수 있다. -20°C 다음으로 20°C 와 40°C 가 비슷한 유량을 보였으며 60°C 의 경우 높은 온도에서 반응이 일어나 촉매 유실이 다른 온도에 비해 심하게 일어났으며, 수소발생률이 저하된 것으로 판단된다.

2회 반응주기를 분석해 보면 -20°C 의 경우 낮은 온도로 인해 반응기를 지속적으로 냉각시켜주기 때문에 촉매의 유실이 크지 않아 수소발생률이 감소되지 않고 유지되는 것으로 보인다. 20°C 의 경우 3.9%정도 상승된 유량을 보였는데, 반응주기가 진행됨에 따라 촉매 반응이 더욱 심화되어 수소발생량이 증가하는 것으로 보인다. 40°C 의 경우 유량이 감소한 것을 볼 수 있는데, 이는 챔버의 지속적인 열 공급으로 인해 높은 반응열로 인한 촉매의 유실이 일어나는 것으로 판단된다. 또한 -20°C , 20°C 에 비해 촉매표면에 NaBO_2 의 도포가 빠르게 일어나는 것으로 판단된다.

3회 반응주기를 분석해 보면 2회 반응주기의 -20°C 의 결과에 비해 수소발생률이 저하된 것을 볼 수 있는데, 이는 반응이 진행됨에 따라 촉매 표면에 NaBO_2 도포가 심화됨에 따라 촉매 성능이 떨어지고, 수소발생률 또한 저하되는 것으로 판단된다. 20°C 의 경우 -20°C 와 40°C 와는 달리 2회 반응주기에 비해 수소발생량이 증가하였다. -20°C 의 경우는 촉매의 유실이 일어나면서 촉매 반응이 저하되지만 주변의 낮은 온도로 반응기의

온도가 낮아지게 되어 촉매 유실이 상대적으로 적어지면서 수소발생률을 유지할 수 있었고, 20°C 의 경우는 미량의 촉매 유실이 일어나도 반응기 온도가 지속적으로 유지가 되기 때문에 수소발생률이 저하되지 않은 것으로 보인다. 40°C 는 2회 반응주기에 비해 촉매 유실이 더욱 심화되어 수소 발생량이 16.3%이상 저하되었다.

Table 2에 20wt.% NaBH_4 에서 각 온도별 평균 수소발생량을 보면 -20°C 가 1518.1ml/min으로 가장 높은 평균 수소발생률을 보였으며, 20°C 가 1392.9ml/min, 40°C 는 1268.7ml/min의 수소발생률을 보였다. 주변온도가 고온으로 올라갈수록 수소발생률이 저하가 된 것을 볼 수 있는데, 이는 촉매 유실의 심화와 NaBO_2 의 도포심화가 주된 원인이었다.

3.2 수소발생 성능 - 25wt.% NaBH_4

Fig. 4와 Table 3은 25wt.% NaBH_4 에서 온도변화에 따른 수소발생률을 반응주기별로 나타내었다. 1회 반응주기는 약 21분으로 실린지 펌프를 이용하여 50ml의 NaBH_4 를 2.3ml/min의 속도로 반응기에 주입시켰다.

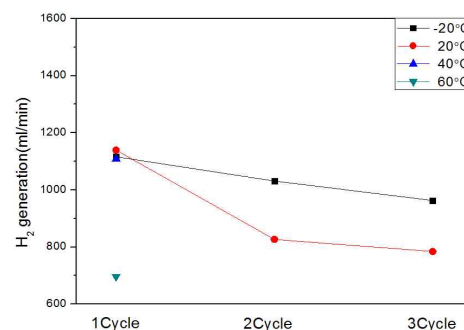


Fig. 4. Hydrogen generation as a function of reaction time at 25wt.% NaBH_4 solution

Table 2. Hydrogen generation rates as reaction cycles and temperatures (20wt.% NaBH_4 solution)

Cycle	-20°C	20°C	40°C	60°C
1cycle	1535.6	1343.1	1367.1	1319.9
2cycle	1543.1	1395.6	1327.8	-
3cycle	1475.7	1440.0	1111.2	-
Average	1518.1	1392.9	1268.7	1319.9

Table 3. Hydrogen generation rates as reaction cycles and temperatures (25wt.% NaBH_4 solution)

Cycle	-20°C	20°C	40°C	60°C
1cycle	1116.2	1139.6	1108.3	696.2
2cycle	1031.1	826.8	-	-
3cycle	962.9	784.5	-	-
Average	1036.7	917.0	1108.3	696.2

1회 반응주기를 분석해 보면 -20°C, 20°C, 40°C의 수소 발생량에는 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 하지만 20wt.% NaBH₄ 실험과 비교하였을 때 수소발생량은 17.9 ~ 47.3% 정도 떨어진 것을 볼 수 있는데, 이는 고농도로 올라갈수록 촉매 반응 후 남은 NaBO₂ 도포가 심각해지기 때문인 것으로 판단된다. 60°C의 경우 다른 3가지 온도조건에 비해 수소발생량이 급격히 감소된 것을 볼 수 있는데, 고온의 실험조건과 고농도의 연료조건이 초기의 급격한 반응으로 촉매 유실을 가속화시키고, 촉매반응감소로 인해 반응기 온도 또한 저하된다. 이로 인해 촉매 표면에 NaBO₂가 도포되기 더욱 심해지고 수소발생량은 실험이 지속 될수록 감소되었다.

2회 반응주기를 분석해 보면 20%에서는 2회 반응주기까지 수소발생량이 거의 유지가 되었지만 NaBH₄의 농도가 올라가면서 수소발생량이 1회 반응주기에 비해 현저히 떨어진 것을 확인할 수 있다. 또한 -20°C에 비해 20°C가 더 많은 수소발생량 저하가 일어난 것을 확인할 수 있는데, -20°C의 경우 주변의 낮은 온도로 인해 지속적인 반응기의 냉각효과를 통해 촉매 유실이 적은 반면에 20°C의 경우 냉각 효과를 줄 수 있는 요소가 없기 때문에 촉매유실이 심각해지고 결국 수소발생량의 차이를 보인다고 판단된다.

3회 반응주기를 분석해보면 -20°C는 2회 반응기와 비슷한 수소발생량 감소를 보였으며, 20°C의 경우는 수소발생량 감소가 크지 않은 것으로 확인되었다. -20°C의 경우 주변의 낮은 온도로 인한 반응기 냉각효과가 지속되어도 고농도 NaBH₄를 연료를 사용함으로 인해 실험이 진행될수록 촉매 표면에 NaBO₂ 도포는 심각해지기

때문에 수소발생량 감소가 계속 일어났다. 20°C는 2회 반응주기 동안 많은 촉매 유실이 일어났기 때문에, 더 이상의 촉매 유실이 일어나지 않고 시간이 지남에 따른 NaBO₂ 도포가 약간의 수소 발생량 감소를 일으키는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 20wt.%와 25wt.% NaBH₄의 챔버 온도에 따른 평균 수소 발생률 비교를 나타낸 것이다. 전체적으로 20wt%가 25wt.%에 비해 높은 수소 발생률을 보였으며, 저온에서 고온으로 갈수록 수소 발생률이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3.3 수소발생기 성능저하 원인분석

실험결과를 통해 시간 경과에 따른 수소발생기 성능저하의 원인을 분석해 보았다. 그 중 가장 큰 요인 중 하나는 반응이 진행되면서 촉매 표면에 도포되는 NaBO₂인 것으로 판단되었다. 이를 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 SEM (Scanning Electron Microscope)을 통하여 실험 전·후 촉매 표면을 관찰하여 NaBO₂의 도포 정도를 확인하였다. Fig. 6(A)는 실험 전 촉매의 사진으로 Ni foam 표면에는 촉매를 제외한 물질이 없는 것을 확인할 수가 있다. 하지만 Fig. 6(B), Fig. 6(C), Fig. 6(D)로 진행되어 갈수록 촉매 표면에 NaBO₂ 도포가 심화되기 시작하는 것을 볼 수 있다. NaBO₂에 의해 촉매 활성점이 물리적으로 도포되면 촉매작용을 할 수가 없게 되는데, 이는 수소발생량 감소로 이어지게 된다. 이는 저농도에서 고농도 NaBH₄로 갈수록 심화되는데, 고농도로 갈수록 촉매의 내구성이나 반응성이 떨어지게 되는 원인 중 한가지이다.

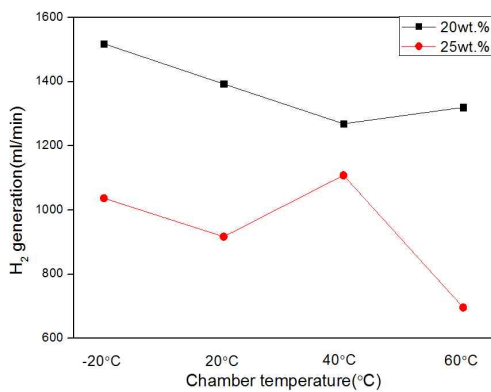


Fig. 5. Average hydrogen generation as a function of chamber temperature at 20wt.% and 25wt.% NaBH₄ solution

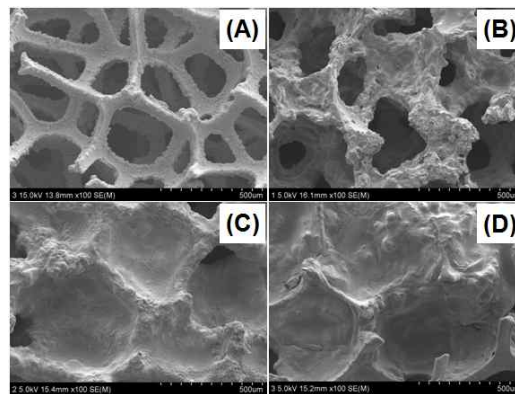


Fig. 6. SEM images of catalyst before and after the experiments (A: pure catalyst, B, C, D: NaBO₂ deposition on the catalyst surface)

Fig. 7과 Table 4는 촉매반응기와 NaBO₂ 분리 카트리지의 평균 온도를 나타내었다. 챔버 온도가 올라갈수록 전체적인 반응기의 온도도 상승하는 것을 볼 수 있다. 또한 20%에 비해 25% NaBH₄가 더 높은 반응기 온도를 나타냈다. 이를 통해 반응기와 챔버의 온도가 높을수록 촉매유실이 심각해져 수소발생량 감소가 일어날 수 있다

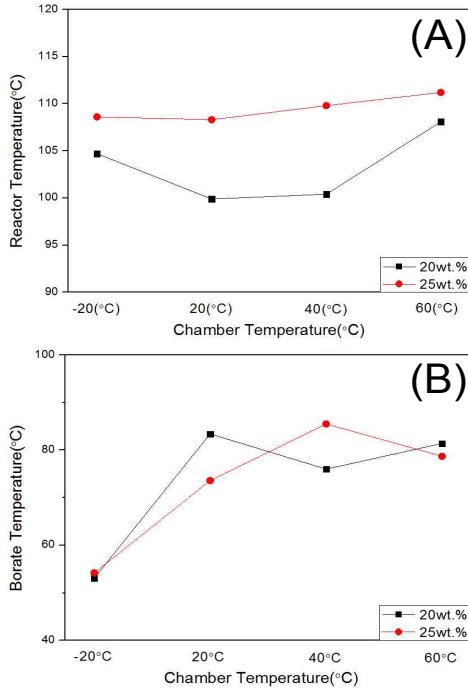


Fig. 7. Reactor and borate temperature as a function of chamber temperature at 20wt.% and 25wt.% NaBH₄ solution (A : Reactor temperature, B : Borate temperature)

Table 4. Reactor and Borate separate cartridge Temperature

	챔버온도 (°C)	반응기 온도 (°C)	분리기 온도 (°C)
20wt.% NaBH ₄	-20	104.7	53.1
	20	99.9	83.4
	40	100.4	76.0
	60	108.1	81.4
25wt.% NaBH ₄	-20	108.6	54.2
	20	108.3	73.6
	40	109.8	85.5
	60	111.2	78.7

고 판단된다. 하지만 -20°C는 반응기의 온도는 높지만 NaBO₂ 분리 카트리지 온도가 다른 3가지 조건에 비해 상당히 낮은데, 이는 냉각효과에 의해 촉매유실이 적은 것으로 판단된다. 나머지 3가지 온도의 경우 분리 카트리지에서 미반응된 NaBH₄가 유실된 촉매와 반응하기 때문에 추가적인 가수분해가 발생하게 되는데, 이때 발생된 열로 인해 분리 카트리지 온도가 상승된 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 연료전지 무인기에 탑재되는 연료전지 시스템의 수소발생기가 촉매 및 화학반응을 통하여 수소를 발생시키기 때문에 온도, 압력, 진동에 민감하다는 것을 확인하였다. 3가지 특성 중 우선적으로 온도가 수소발생기에 미치는 영향을 파악하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

수소발생기의 주변 온도를 -20°C~60°C까지 변화시키며 시험한 결과, 20wt.%와 25wt.% 모두 반응주기가 진행될수록 수소발생량이 감소하는 것을 볼 수가 있었다. 그 이유로써 초기 급격한 반응으로 인한 촉매 유실과 반응이 진행되면서 촉매표면에 NaBO₂가 도포되면서 수소발생량의 감소가 일어난다고 판단된다. NaBO₂에 의해 촉매 활성점이 물리적으로 도포되고 촉매작용이 점차 줄어들게 되어 수소발생량이 감소하게 된다.

전체적으로 -20°C에서 가장 높은 수소 발생량을 보였으며, 20°C, 40°C, 60°C의 순으로 수소발생량이 감소하는 것을 알 수가 있었다. -20°C의 경우 낮은 챔버의 온도가 반응기를 지속적으로 냉각시켜주기 때문에 촉매의 유실이 다른 온도보다 적어 수소발생량이 높은 것으로 판단된다. 60°C의 경우 반응 시 높은 열과 주변에서의 열공급으로 인해 촉매 유실이 심화되어 다른 온도에 비해 현저히 떨어지는 수소 발생량을 보인다.

또 다른 문제점으로 NaBO₂ 분리 카트리지에서 유실된 촉매와 미반응된 NaBH₄가 반응하여 추가적인 수소를 발생함에 따라 수소유량 제어에 문제가 발생할 수 있었다. 또한 분리 카트리지에서 추가적인 가수분해를 통해 발생된 열로 카트리지 온도가 상승되면서 NaBO₂가 급격히 석출되는 것을 확인하였다.

실험결과를 통하여 고농도 NaBH₄와 고온에서도 반응성과 내구성이 뛰어난 촉매 개발이 시급하며, NaBO₂ 처리문제를 해결할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 또한 수소 발생기의 최적화와 성능개선이 시급하다고 판단된다.

후 기

이 연구(논문)은 교육과학기술부의 지원으로 수행하는 21세기 프론티어연구개발사업(수소에너 지사업단)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 권세진, 김태규, "연료전지 무인기", KSAS 매거진, 제3권, 제2호, 2009, pp. 65-72.
- 2) 김근배, 연료전지항공기 기술동향, 항공우주 산업기술동향, 7권, 2호, 2009, pp. 95~105.
- 3) 김태규, 심현철, 권세진, "무인기용 연료전 지 추진시스템의 동력관리", 한국추진공학회 2007년도 추계학술대회, 2007, pp. 13~16.
- 4) 김태규, 심현철, 권세진, "무인기 동력원을 위한 연료전지 시스템의 설계 및 성능 시험", 한국군사과학기술학회 2007년도 종합학술대회, 2007.
- 5) 이창호, 김성욱, 김동민, "전기동력 소형 무 인항공기의 성능분석", 한국추진공학회지, v. 14, no. 4, pp. 65-70.
- 6) 김태규, 심현철, 권세진, "연료전지를 동력 장치로 하는 Blended Wing-Body UAV", 한국항공 우주학회 2007년도 춘계학술대회, 2007, pp. 420~423.
- 7) 김태규, 이기성, 권세진, "연료전지 무인 항 공기 설계 및 시험 결과", 한국항공우주학회 2009년도 춘계학술대회, 508-511, 2009.
- 8) 김태규, "소형 연료전지 무인기용 수소발생 장치의 성능시험", 2010 한국수소 및 신에너지학 회 2010년도 춘계학술대회, 2010, pp. 126-129.

- 9) James Larminie, Andrew Dics, "Fuel Cell System Explained", John Wiley & Sons, 2003.
- 10) S.C. Amendola, S.L. Sharp-Goldman, M.S. Janjua, M.T. Kelly, P.J. Petillo, and M. Binder, "An Ultrasafe Hydrogen Generator: Aqueous, Alkaline Borohydride Solution and Ru Catalyst", J. power sources, Vol. 85, 2000, pp. 186-189.
- 11) H.I. Schlesinger, H.C. Brown, A.E. Finholt, J.R. Gilbreath, H.R. Hockstra, and E.K. Hyde, "Sodium borohydride, its hydrolysis and its use as a reducing agent and in the generation of hydrogen", J. Am. Chem. Soc. Vol. 75, 1953, pp. 215-219.
- 12) S. Galli, M.De Francesco, G. Monteleone, R. Oronzio and A. Pozio, "Development of a compact hydrogen generator from sodium borohydride", J. Hydrogen Energy, 35, 2010, pp. 7344 - 7349.
- 13) R. Oronzio, G. Monteleone, A. Pozio , M. De Francesco and S. Galli, "New reactor design for catalytic sodium borohydride hydrolysis", J. Hydrogen Energy, 34, 2009, pp. 4555-4560.
- 14) 박대일, 김태규, "Co-Ni-P-B/Ni foam 촉매 에서 NaBH₄ 가수분해를 통한 수소 발생", 2010 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제 21권 제 5 호, 2010, pp. 383-389.
- 15) 박대일, 김태규, "고온 및 저온 환경에서 화학 수소화물 수소 발생장치의 성능평가", 한국 수소 및 신에너지학회 2010년도 추계학술대회, 2010, pp. 49-52.