

## 화학적 수소저장 관련 최신 연구동향 (III)

### - Ammonia Borane (3) -

Polyether 기반의 화학적 첨가제를 사용한 ammonia borane (AB) 탈수소화반응에 대한 최신 연구결과는 AB를 연료로 사용하는 다양한 수소저장시스템 및 이를 이용한 휴대용 수소연료전지 파워팩의 개발 가능성을 시사한다. AB 기반의 수소발생용 반응기의 경우, 현재 미국 DOE를 중심으로 수송용 응용에의 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내의 경우 한국과학기술연구원 (KIST)의 주도로 AB를 연료로 사용하는 휴대용 전원장치 개발이 이루어지고 있으며, 최근 KIST 연구팀은 상술한 polyether 첨가제에 의한 AB 탈수소화반응 속도의 향상 및 수소방출 메커니즘 규명과 더불어 이를 이용한 수소발생용 연속 반응기를 제작한 바 있다 (그림 1).

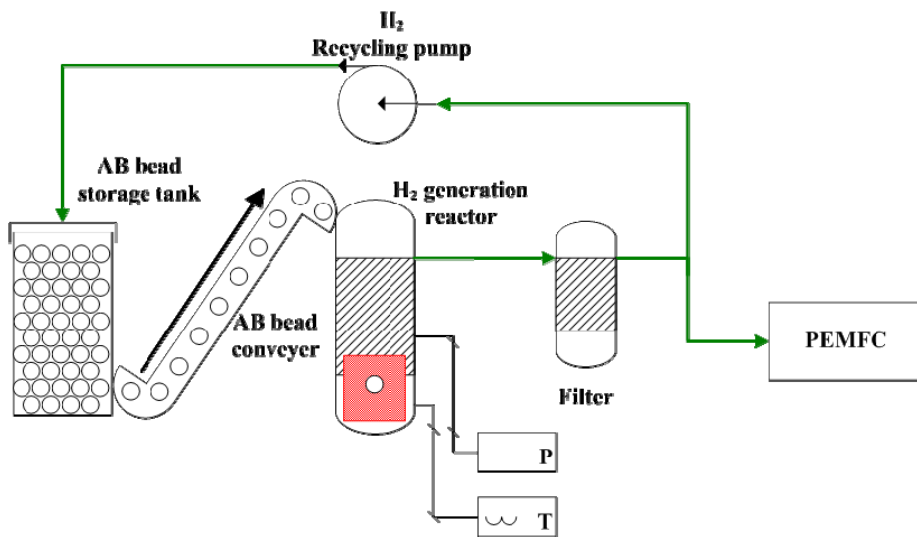


그림 1. AB 기반 수소발생시스템 도식도 (1 세대).

AB 기반 수소발생시스템은 크게 (i) AB 저장탱크/운송시스템, (ii) 수소발생용 반응기, 및 (iii) 수소정제시스템으로 구성되어 있다 (그림 1). 고체 상태로 존재하는 AB 연료는 원활한 이송을 위해 구형의 pellet 형태로 추가 성형되었으며, 각각의 pellet은 약 83 mg의 무게를 가진다. AB 저장탱크의 최대 연료

저장량은 약 82 g (약 1000 pellets)이며, 연료의 원활한 운송을 위하여 spinning wheel system를 사용하였다. 고체 AB pellet의 공급속도는 분당 0.0 – 2.3 g 범위 이내에 조절이 용이하다. 수소발생용 반응기는 약 300 mL의 부피를 가지며, 내부에는 AB 탈수소화반응의 속도를 가속할 수 있도록 화학적 첨가제인 tetraethylene glycol dimethylether (T4EGDE, 120 g)가 위치해 있다. AB 탈수소화반응을 통해 발생하는 기체는 수소뿐만 아니라 다양한 기체 불순물을 함유하고 있으므로, 연료전지 내부에 위치한 백금촉매의 성능 저하를 억제하기 위한 전략으로, 발생한 기체가 연료전지에 공급되기 전 activated carbon을 흡착제로 사용한 수소정제시스템을 통과하도록 고안하였다. 이와 동시에 반응 중, 사용한 용매인 T4EGDE가 부분적으로 기화되어 AB 저장탱크로 역침투하는 것을 방지하기 위하여, 발생한 수소의 일부를 재활용하여 저장탱크 내부로 순환하도록 고안하였다. 이렇게 제작된 수소발생기는 그림 2에 나타나있다.

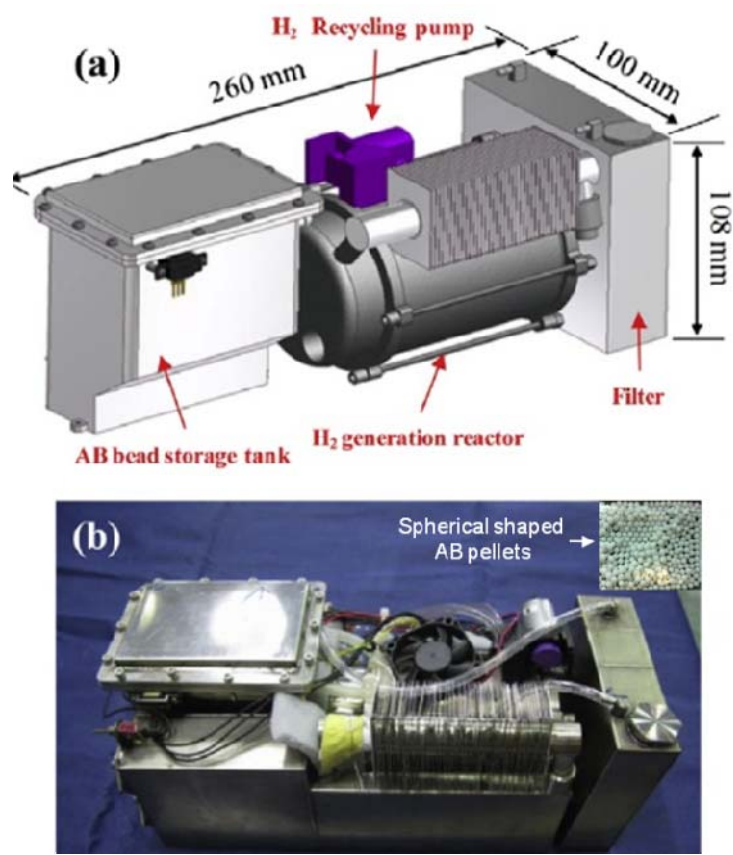


그림 2. AB 기반 수소발생시스템 (1 세대) [1].

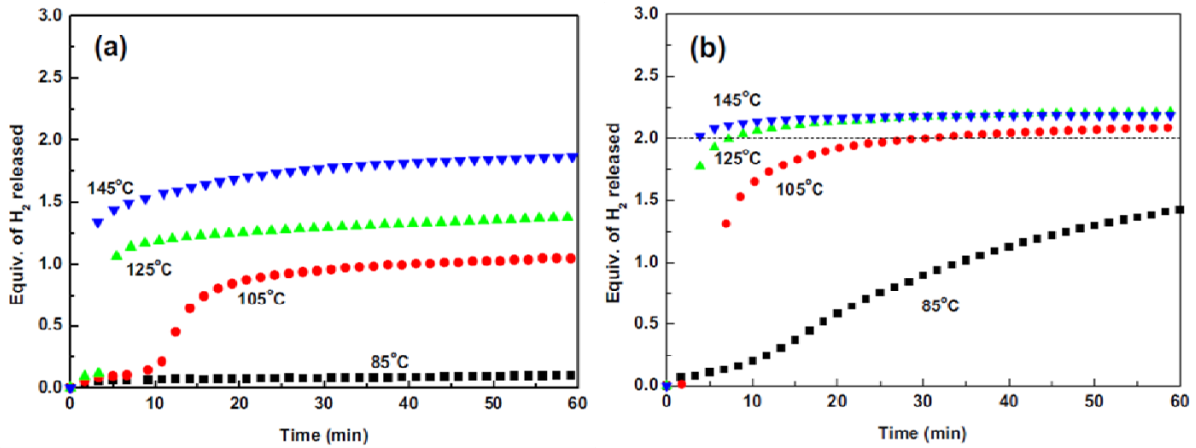


그림 3. 온도에 따른 (a) 순수한 AB의 탈수소화반응 결과 및 (b) T4EGDE 존재 하 AB의 수소발생반응 결과 [1].

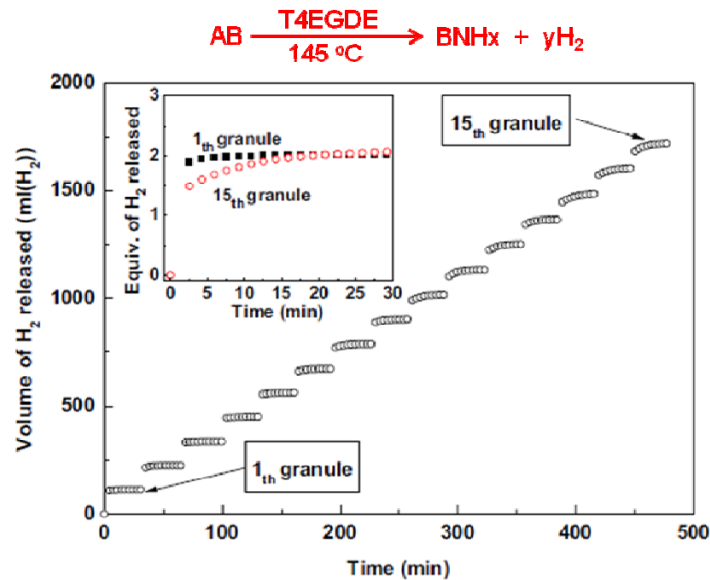


그림 4. T4EGDE-AB 혼합물의 열분해 반응을 통한 수소생산 (145 °C) [1].

KIST 연구팀은 상술한 수소발생장치를 사용하여 AB pellet의 열분해 반응을 수행하였다. 그림 3에 보듯이, 순수한 AB는 수소 탈착 이전 induction period를 거쳐 매우 느린 속도로 수소를 방출함이 관찰되었다. 반면, AB 및 T4EGDE 첨가제의 무게 비율을 14:86로 고정한 AB pellet 기반 혼합물을 사용하였을 경우, induction period 없이 빠른 속도로 수소를 방출할 수 있음을 확인하였다. 예로, 상술한 AB 기반 혼합물은 85 °C로 가열하였을 경우 1시간

동안 약 1.4 당량의 수소를 방출하였으며, 145 °C로 가열한 경우에는 3.6 분 이내에 2 당량 이상의 수소를 방출하였다. 이와 더불어, T4EGDE 첨가제는 AB 열분해 시 발생하는 거품현상 및 비산 문제를 경감시킴으로써 수소발생기의 내구성을 증진하는데 중요한 역할을 담당함이 밝혀졌다. 이와 더불어, T4EGDE (0.5 g)을 사용하여 AB pellet의 열분해 반응을 연속적으로 수행한 결과 (AB pellet, 15 ea; 총 1.23 g), 반응성의 큰 변화 없이 총 1.7 L의 수소가 발생하였다 (그림 4). 이러한 결과는 AB 기반 혼합물 (AB + T4EGDE)이 무게대비 8.9 wt%의 수소를 저장할 수 있음을 의미한다.

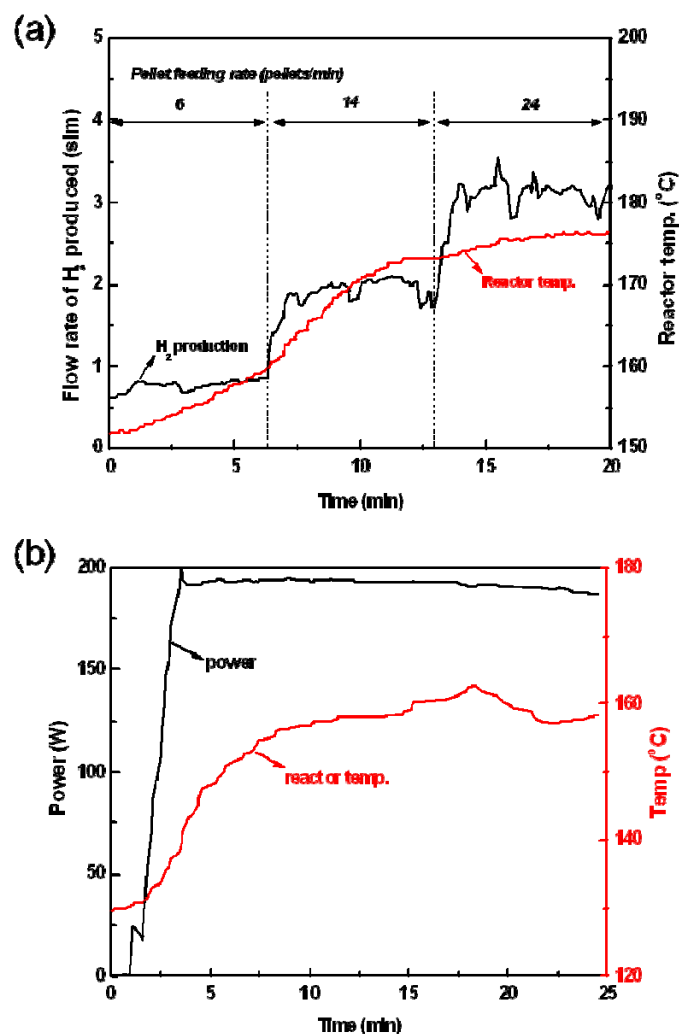


그림 5. AB 기반 수소발생시스템 운전 결과: (a) AB 공급속도 변화에 따른 수소발생속도 및 반응기 온도 변화, (b) 시간에 따른 전력 및 반응기 온도변화 [1].

이 연구팀은 AB 기반 수소발생시스템을 사용하여 AB 공급속도 변화에 따른 수소발생속도의 변화 및 온도변화를 관찰하였다. AB의 공급속도가 6 ea/min으로부터 24 ea/min으로 증가하였을 경우, 수소발생량이 시간에 따라 증가함을 관찰하였으며, 또한 반응기의 내부 온도가 탈수소화반응이 진행됨에 따라 증가함을 발견하였다 (그림 5a). 즉, AB pellet의 공급 전 반응기의 초기온도 (150 °C)가 수소가 방출됨에 따라 20분 후 약 175 °C로 상승하였다. 이는 AB 탈수소화반응의 발열특성에 기인한다. 이와 더불어 KIST 연구팀은 개발한 수소발생기와 200 W<sub>e</sub> 상용 연료전지를 통합하여 수소파워팩을 구축하였으며, 이를 이용한 연속 운전 실험을 통해 수소파워팩이 연속적으로 200 W<sub>e</sub>의 파워를 공급할 수 있음을 확인하였다 (그림 5b). 이 결과는 개발한 수소연료전지 파워팩이 휴대용 응용에 적용 가능함을 암시한다.

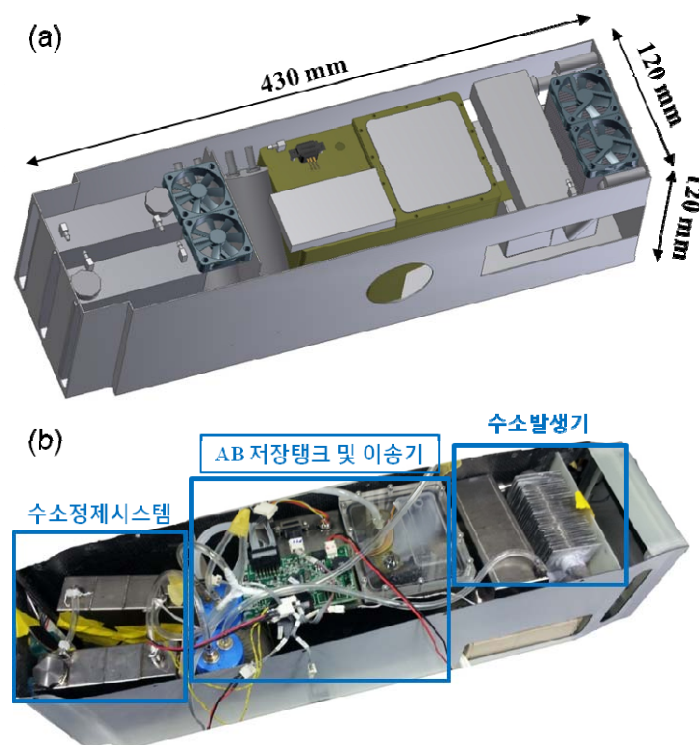


그림 6. AB 기반 수소발생시스템 (2세대) [2].

KIST 연구팀은, AB 기반 수소연료전지 파워팩의 실증을 위해, 상술한 1세대 파워팩 기술을 기반으로 기능이 향상된 2세대 수소파워팩을 개발하였다 (그림 6). 개발한 파워팩은 수소발생시스템, 수소정제시스템, 및 200 W<sub>e</sub> 상용

연료전지로 구성되어 있으며 각각의 무게는 1,706 g, 260 g, 및 1,000 g이다. 개발된 2세대 AB 기반 수소파워팩은 한국항공우주연구원이 개발한 무인비행기에 탑재 후 약 1시간의 시험비행에 성공하였다 (그림 7) [3].



그림 7. AB 기반 수소파워팩을 사용한 무인비행기.

## 참고문헌

- [1] Kim, Y.; Kim, Y.; Yeo, S.; Kim, K.; Koh, K. J.-E.; Seo, J.-E.; Shin, S. J.; Choi, D.-K.; Yoon, C. W.; Nam, S. W. *J. Power Sources* **2013**, 229, 170.
- [2] Seo, J.-E *et al. J. Power Sources* submitted.
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=utoDzFifDYY>.