

수중추진을 위한 해수반응성 고체추진제의 연소특성에 관한 연구

박길수* · 김태규*[†]

Study on combustion characteristics of seawater-reactive solid propellant for underwater propulsion

Kilsu Park* · Taegy Kim*[†]

ABSTRACT

NaBH₄ was added to improve the water reactivity of aluminum powder as a solid propellant for underwater propulsion. Aluminum powders showed different combustion characteristics depending on the amount of NaBH₄ added. When NaBH₄ was added, it was burned by reaction with water even at a temperature much lower than the boiling point. In this study, it was confirmed that NaBH₄ is an effective additive to accelerate the vapor reaction with Al powder.

초 록

수중추진을 위한 고체추진제로 알루미늄 분말의 수반응성을 높이기 위하여 NaBH₄를 첨가하였다. 알루미늄 분말은 NaBH₄의 첨가량에 따라 다른 연소특성을 보였다. NaBH₄를 첨가하였을 때 끓는점보다 훨씬 낮은 온도에서도 물과 반응하여 연소되었다. 본 연구에서 NaBH₄는 Al 분말과 증기 반응을 촉진시키는 효과적인 첨가제임을 확인하였다.

Key Words: Underwater propulsion(수중추진), Seawater-reactivity(해수반응성), Aluminum powder(알루미늄 분말), Sodium borohydride(수소화붕소나트륨), Solid propellant(고체추진제)

1. 서 론

고속 수중추진을 위한 해수흡입 램젯 추진 기관은 해수를 산화제로 사용하며, 알루미늄 및 마그네슘 같은 수반응성이 높은 금속을 사용한다 [1]. 하지만 수반응성 고체추진제의 주성분인 Al,

Mg 등과 같은 금속분말은 대부분 산화피막으로 덮여있다. 금속분말이 물과 반응하기 위해서는 이 산화피막을 분해하는 활성화 과정을 거쳐야 하는데 이때 많은 에너지가 필요하게 되며, 산화피막을 분해하는데 필요한 에너지양이 전체 추진제 조성 및 추진기관 설계에 중요한 변수로 작용하게 된다[2].

특히, 단위 질량당 에너지양이 가장 높은 알루미늄은 산화피막인 산화알루미늄의 녹는점이

* 조선대학교 항공우주공학과

[†] 교신저자, E-mail: taegy@chosun.ac.kr

2000℃가 넘어 산화피막을 제거하기 위해 F폴리머 등을 이용한 산화제를 첨가하는 등 다양한 연구가 진행되고 있지만, 여전히 산화피막을 사용하기 위해 많은 에너지를 사용하게 된다.

본 연구에서는 Al분말과 물의 반응성을 높이기 위하여 Al분말에 고체상태의 NaBH₄를 첨가하였다[3],[4]. 또한 NaBH₄의 비율에 따른 Al 분말의 연소 특성 변화에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험

2.1 해수반응성 고체추진제 샘플 제조

Al 분말과 NaBH₄의 비율에 따른 샘플의 조성을 Table 1에 나타내었다. Al 분말의 입자크기는 325 mesh였으며, NaBH₄는 순도 98%의 펠릿 형태를 막자사발을 이용해 파우더 형태로 만들어 사용하였다.

Table 1. Compositions of samples.

Sample Name	Al/wt.%	NaBH ₄ /wt.%
S-1	100	0
S-2	97	3
S-3	93	7
S-4	89	11
S-5	85	15

2.2 실험장치 및 측정방법

과열증기를 생성하기 위해 전기로를 이용하여 물을 600℃로 가열하였다. 가열된 스팀은 노즐을 통해 샘플로 분사하였다. 노즐에서 분사되는 스팀의 온도는 530℃였다. 연소기는 히터를 이용해 온도를 유지하였다. 샘플 위치의 연소기 벽면 온도는 550℃로 유지하였다.

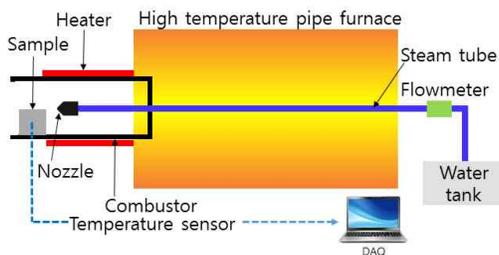


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Al 분말의 연소 특성에 미치는 NaBH₄의 영향

본 연구에서는 Al 분말과 NaBH₄의 비율에 따른 최대 연소온도 변화를 분석하였다. 본 실험에서는 Al 분말에 NaBH₄를 첨가하면 발화온도 및 최대 연소온도에 영향을 미치는 것으로 확인하였다. Fig. 2는 각 샘플의 최대 연소온도를 나타낸다. 연소기 내부 온도 550℃에서 S-1(NaBH₄ 미첨가)은 점화가 이루어지지 않았지만 NaBH₄를 첨가한 나머지 샘플에서는 2초 이내에 점화되었다. 연소 최대온도는 S-3에서 890℃로 가장 높았으며, NaBH₄ 함유량 7wt.%부터 높아질수록 최대 연소온도가 낮아지는 것을 확인하였다.

Fig. 3은 S-3의 연소온도 변화곡선을 나타내고 있다. 샘플의 연소가 시작된 후 급격하게 온도가 상승하고 반응이 끝날 때까지 서서히 줄어든다. Fig. 4는 샘플이 연소되어 화염이 발생하는 현상을 나타내고 있다.

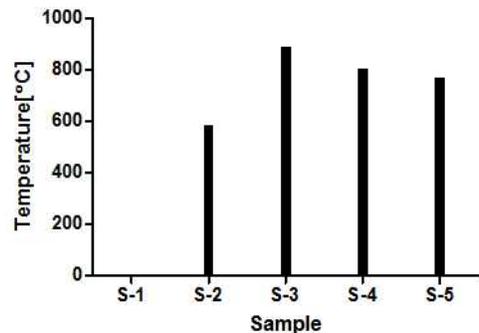


Fig. 2 Maximum combustion temperature as the Al and NaBH₄ composition

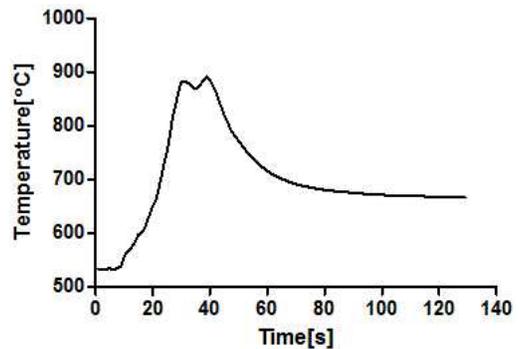


Fig. 3 Combustion temperature evolution curve of the S-3

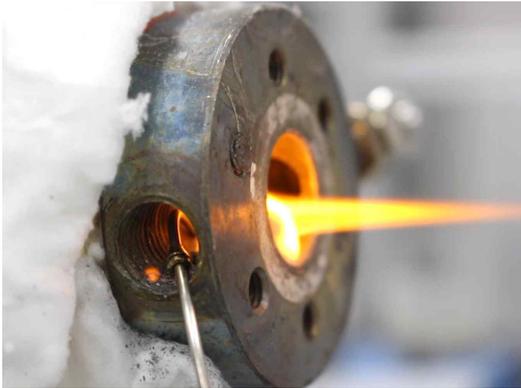


Fig. 4 Hydro-reactive Hot-firing of the Al/NaBH₄ solid propellant

4. 결 론

본 연구에서는 NaBH₄가 Al 분말의 연소에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 본 실험에서 사용한 Al 분말의 활성화 온도는 1200℃이다. Al 분말에 NaBH₄를 첨가하지 않았을 때는 550℃에서 점화가 되지 않았으나, NaBH₄를 첨가한 샘플에서는 모두 점화되었다. 이는 NaBH₄가 Al 분말의 점화 온도를 낮추어 주는 역할을 하는 것으로 판단된다. 또한 NaBH₄는 Al 분말의 최대 연소온도에도 영향을 미치는 것으로 분석되었다. NaBH₄의 함유량이 3%에서 7%로 증가했을 때는 최대 연소온도가 상승했지만 7%보다 많

은 양을 첨가하였을 때는 최대 연소온도가 줄어드는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 NaBH₄는 Al 분말과 증기 반응을 촉진시키는 효과적인 첨가제임을 확인하였다. 또한 Al 분말에 NaBH₄를 적정량 혼합하였을 때 최적의 연소조건을 갖출 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Jesse A.L. and Timothy F.M., "A preliminary design of magnesium fueled martian ramjet engine", AIAA 2002-3788
2. Shi-kyung Yoon, Hong-gye Sung, "Combustion modeling of nano aluminum particle and water mixture", KSPE Spring Conference, pp.472-475, 2010
3. Fan Li, Baozhong Zh, Yunlan Sun and Wei Tao, "Hydrogen generation by means of the combustion of aluminum powder/sodium borohydride in steam", *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 42, pp.3804-3812, 2017
4. Yu L, Matthews MA., "Hydrolysis of sodium borohydride in concentrated aqueous solution", *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 36, No. 13, pp.7416-7422, 2011