

수반응 금속연료 고체추진제의 특성연구

김준형* · 서태석* · 정정용*

A Study on the Characteristics of Hydro-reactive Metal Fuel Solid Propellants

Junhyung Kim* · Taeseok Seo* · Jungyong Jung*

ABSTRACT

The characteristics of hydro-reactive metal fuel(HRF) propellant on motor performances such as specific impulse and chamber temperature were analyzed by thermodynamic calculation methods. The thermal analysis and burning rate experiments of HRF propellants were also carried out for studying effects of metal fuels on combustion properties

초 록

열역학적 계산법을 적용하여 수반응 금속연료 추진제(HRF Propellants)의 비추력과 챔버 온도들과 같은 성능특성들을 분석하였다. 금속연료로 사용한 HRF 추진제의 열분석과 연소속도 시험을 통하여 연소특성에 대한 금속연료의 영향평가를 수행하였다.

Key Words: Hydro-reactive Metal Fuel(수반응성금속연료), Propellants(추진제), Burn rate(연소속도)

1. 서 론

추진제 구성 연료들의 산화반응을 통해 에너지를 발생시키기 위하여 고체형상의 산화제를 추진제의 일원으로 포함하는 일반적인 고체추진제와 달리 필요시 되는 산화제류인 공기, 이산화탄소, 물 등을 외부로부터 공급받는 형식으로 추력을 얻는 방식에 대해 많은 연구가 이루어지고

있으며, 특히 수중에서 가스 버블에 의한 초공동현상(supercavitation)과 추진제 내에 과량의 금속성분을 연료로 사용하고, 외부로부터 공급되는 물을 산화제로 사용하는 수반응성 금속연료추진제(Hydro-reactive Metal Fuel Propellants, 이하 HRF 추진제)들을 이용하여 초고속으로 순항하는 어뢰 등을 개발하고자 하는 연구들이 선진 각 국가에서 현재 활발히 수행되고 있다[1, 2]. 주요 연구사항들은 과연료(Fuel-rich)추진제를 기본 조성으로 하고 이들의 연소속도와 같은 연소특성과 연소 후 금속성분과 물의 반응에 대한 모타내에서의 온도나 성분들에 대한 특성 그리

* 국방과학연구소 1기술연구본부 6부
† 교신저자, E-mail: jhkimxtal@add.re.kr

고 이들의 모터의 성능 특성과 시험들에 대한 연구가 주요 주제를 이루고 있다.

본 연구에서는 금속연료로 Al과 Mg 를 적용하고 HTPB등의 바인더를 적용한 HRF 추진제에 대하여 산화제로 물을 사용하는 수반응을 고려하였을 때 온도와 비추력특성과 같은 이론적 성능 특성들을 평가하였다. 또한 이들 금속들을 함유한 HTPB/AP계 추진제들을 제조하여 이들 HRF추진제들의 연소특성과 열분해 특성을 시험하였다.

2. 실험

2.1 추진제 제조

수반응 금속함유 추진제의 연소특성 및 열분해 특성을 파악하기 위하여 HTPB 바인더계에서 산화제로 AP를 사용하고, Mg와 Al를 금속연료로 사용하는 추진제를 제조하였다. 원료들의 혼합특성을 파악하기 위하여 R-R mixer를 사용한 예비실험을 수행하였고, 이들 실험과 이론적 성능특성을 활용하여 1 pint 혼합기로 추진제를 제조하였다.

2.2 열분해 및 연소특성

추진제 제조에 사용되는 각종 원료들과 제조된 추진제들의 열분해 특성에 대한 연구는 추진제 안정성이나 연소특성을 이해하는데 매우 유용한 정보들을 주게 되므로 추진제의 개발시 이에 대한 많은 연구가 필요시 된다. 본 연구에서는 추진제의 열분해 특성에 대한 기본적인 특성을 위하여, TGA 분석을 수행하였다. 상압에서 추진제 시편의 온도 상승에 따른 열분해 특성을 분석하기 위하여 TA Instruments사의 열분석시스템인 SDT-2960을 사용하였다. 분석은 60 ml/min의 질소분위기에서 10 °C/min 의 가열속도를 갖고 수행되었다.

또한 제조된 추진제의 연소특성을 시험하기 위하여 Strand Burner를 사용하여 압력에 따른 연소속도를 분석 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이론적 성능특성

HRF 추진제의 성능특성의 해석은, 연소되는 금속과 반응하기 위한 물이 시스템으로 유입되므로 이를 고려한 수치식들이 사용되고 있다 [3, 4]. 유입되는 물의 유량(\dot{m}_w)과 금속함유 추진제의 연소유량(\dot{m}_p)의 비를 변수하여 (Al/Mg):(HTPB):(AP)= 50:20:30의 조성에 대하여 계산한 결과, 비추력특성 I_s 와 온도 T는 Fig. 1 같이 나타낼 수 있다.

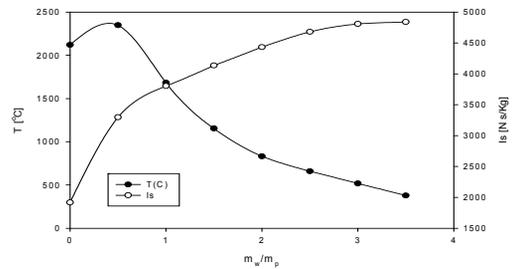


Fig. 1 Effects of Water/Fuel ratio on motor performance at 2.4 MPa chamber pressure

3.2 열분해 특성

추진제의 열분해 특성에 대한 금속연료와 연소촉매 등의 역할을 평가하기 위한 TGA분석을 수행하였다. 연소촉매인 Butacene의 역할을 살펴보기 위하여, 산화제로 AP를 사용하고 Al과 Mg를 반씩 사용한 상태에서 촉매의 사용 유·무로 제조된 추진제들에 대하여 열분석을 수행하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

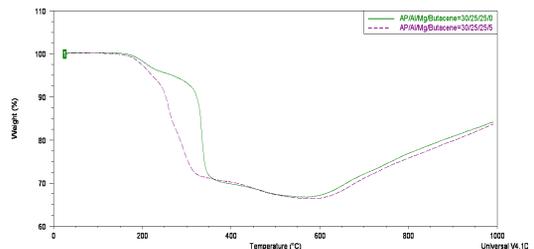


Fig. 2 Effect of Butacene on the TGA curves of HRF propellants

촉매가 사용된 경우, 약 250 ℃ 이상과 400 ℃ 이하의 온도 범위에서 급격한 무게 감량이 이루어지고 있다. 이는 Butacene이 추진제에 함유한 AP의 분해를 촉진함으로써 추진제의 연소속도를 증진시키는 것을 알 수가 있다. 또한 금속연료들의 용융점보다 낮은 500 ℃ 근방 이후의 온도부터 금속의 질화물질들의 생성으로 인하여 무게가 증가하는 것을 보이고 있다.

3.3 연소속도 특성

HRF 추진제의 연소속도 특성을 살펴보기 위하여 AP/HTPB계에서 금속연료로 Al과 Mg 그리고 이들의 혼합연료를 포함한 추진제들에 대하여 스트랜드버너 연소시험을 수행하였고 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 연소특성을 살펴보면 연소압력이 증감함에 따라 약 500 psia 구간, 500 psia에서 800 psia 구간, 그리고 그 이상의 압력구간에서 연소속도의 압력의존 지수가 변화되는 특성을 보이고 있음을 나타내는데, Vieille의 식($r=aP^n$)을 고려했을 때 500~800 psia 압력구간에서 plateau나 mesa 특성은 아니지만 압력지수, n ,가 감소하다 다시 증가하는 특성을 보였다. 또한 금속연료로 Mg가 사용되는 경우 연소속도가 Al보다 높음을 보이고 있다.

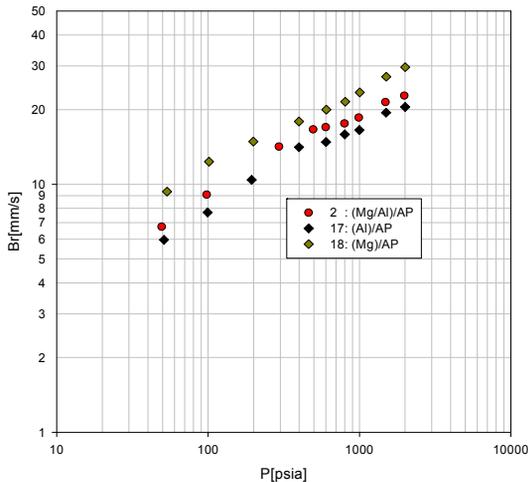


Fig. 3 Burning rate characteristics of HRF propellants

4. 결 론

HRF 추진제에 대한 이론적 성능 특성분석과, Al과 Mg, 그리고 Al과 Mg 혼합연료를 사용하여 제조된 HTPB/AP계 추진제의 열분해 특성과 연소특성을 시험한 결과, HRF 추진제의 비추력과 온도 등의 성능특성을 계산하였으며, 연소촉매로 Butacene이 추진제에 사용된 경우 추진제의 분해속도를 증진시켜 추진제의 연소속도 증가를 가져옴을 확인하였고, Mg가 사용된 추진제가 Al추진제보다 빠른 연소속도특성을 보였다.

참 고 문 헌

1. Jesse A.L. and Timothy F.M., "A Preliminary Design of a Magnesium Fueled Martian Ramjet Engine", AIAA 2002-3788
2. Timothy F.M. and John D. H., "Green Rocket Propulsion by Reaction of Al and Mg Powders and Water", AIAA 2004-4037
3. Yang Y. and He M., "A theoretical investigation of thermodynamic performance for a ramjet based on a magnesium-water reaction", Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, part M., J. Eng. for Maritime Env., Vol. 224, pp.61
4. Hu F. et al., "Theoretical research on specific impulse performance and chamber length of hydroreactive fuel motor", J. Solid Rocket Technology, Vol. 30, pp.12, 2007