

에탄올 블렌딩한 과산화수소 추력기의 성능평가

이정섭* · 권세진*†

Performance Evaluation of Ethanol Blended Hydrogen Peroxide Thrusters

Jeongsub Lee* · Sejin Kwon*†

ABSTRACT

The blending method that is an addition of small quantity of fuel was used to increase the performance of green propellant thruster. 90 wt.% hydrogen peroxide as a green propellant was selected, and ethanol was used as a blended fuel. The o/f ratio was chosen as 50 which has higher theoretical performance than 98 wt.% hydrogen peroxide. The chamber temperature of blended hydrogen peroxide was higher than adiabatic chamber temperature of hydrogen peroxide. Therefore, performance can be improved by ethanol blending. Several catalyst and its support were compared to find appropriate catalyst for decomposition and combustion of ethanol blended hydrogen peroxide. As a experimental results, Pt was suitable, but MnO₂ had a chamber instability when it was reused. The α -Al₂O₃ which is high heat-resistant support showed very unstable performance in both Pt and MnO₂ catalyst since it has low decomposition performance.

초 록

친환경 추진제를 사용하는 추력기의 성능 향상을 위해서 미소량의 연료를 첨가하는 블렌딩 기법을 적용하였다. 친환경 추진제로는 90 wt.% 과산화수소를 사용하였으며, 혼합하는 연료는 에탄올을 사용하였다. 혼합비는 98 wt.% 과산화수소의 이론 성능을 상회하는 성능을 갖는 50으로 정하였다. 실험 결과 에탄올 블렌딩한 과산화수소의 반응기 온도가 과산화수소의 단일 분해 온도보다 높았다. 따라서 에탄올 블렌딩을 통해서 성능 증대를 꾀할 수 있었다. 또한 다양한 촉매 및 지지체의 비교를 통해 에탄올 블렌딩한 과산화수소 분해 및 연소에 적합한 촉매 조합을 파악하였다. 실험 결과 백금 촉매가 적합하다고 판단되며 이산화망간 촉매는 재사용 시 불안정성이 증가하였다. 고온 안정성이 높은 α -Al₂O₃를 지지체로 사용할 경우 촉매의 분해 성능이 낮아 매우 불안정한 성능을 보였다.

Key Words: Blending(블렌딩), Hydrogen Peroxide(과산화수소), Ethanol(에탄올), Thruster(추력기)

* KAIST, 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

위성 및 우주선의 자세 제어 및 궤도 변경을 위한 추력기는 큰 추력을 요하지 않기 때문에 이원 추진제 시스템보다 구조가 간단한 단일 추진제 시스템을 많이 사용한다. 이러한 단일 추진제 시스템은 촉매 분해를 통해 추진제를 분해하여 고온, 고압의 가스를 발생시켜 추력을 얻는 방식이다. 현재까지 가장 널리 사용되는 단일 추진제는 하이dra진이다. 하이dra진은 높은 비추력을 갖으면서도 다른 단일 추진제에 비해 상대적으로 낮은 반응기 온도를 갖기 때문에 별도의 냉각이 필요없는 장점이 있다. 그러나 하이dra진은 독성이 매우 높기 때문에 작업자의 안전이 크게 위협을 받으며, 안전을 위한 시설 투자비가 다른 추진제에 비해 높다. 또한 대기에 노출될 경우 반응하기 때문에 보관 및 수송에 있어서도 주의가 요구 된다[1].

이처럼 안전상의 문제로 인하여 하이dra진을 대체할 수 있는 친환경 단일 추진제에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 친환경 단일 추진제로는 하이dra진에 상응하는 성능을 발휘할 수 없기 때문에, 이를 보완하기 위해 소량의 연료를 첨가하는 블렌딩 기법이 적용되었다. 블렌딩 기법은 소량의 연료 첨가로 인한 성능 증대를 꾀하는 방법으로서, 이원 추진제의 예혼합 상태와 비슷하지만 최대 비추력을 얻는 혼합비가 아니기 때문에 일반적으로 산화제 과잉 상태이며, 혼합된 연료의 양이 비교적 적다. 블렌딩 기법은 HAN, ADN과 같은 이온성 액체에 메탄올은 혼합하는 방식이 연구되었으며, 상용화 수준에 이르렀다. Primex사에서는 HAN에 Glycine을 혼합해 200 °C로 예열하여 실험에 성공하였으며, Aerojet사에서는 HAN/Methanol을 사용해 80 ~ 90%의 특성 속도 효율을 얻었다. 스웨덴의 SSC에서는 ADN/Methanol/Ammonia를 사용하여 1 ~ 22 N급 추력기를 개발하였으며, Prisma 위성에 적용한 바 있다[2]. 하지만 이온성 액체는 촉매 분해를 위해서 촉매의 예열을 필요로 하는 단점이 있으며, 이는 위성이나 우주선의 전력 설계에 있어서 부담이 될 수밖에 없다. 따라서 이 연구에서는 상온에서도 분해가 잘 일어나는 과산화수소 단일 추진제에 블렌딩 기법을 적

용하여 추력기로서 사용가능 여부를 파악하였다. 에탄올을 블렌딩한 과산화수소의 저장성 및 재료 적합성에 대한 연구 결과 추진제로서 사용함에 있어 적합하다는 선행 연구 결과가 있다[3].

2. 연료 및 혼합비 선정

2.1 과산화수소/에탄올 선정 이유

과산화수소는 1900년대 초반부터 널리 사용되어 온 단일 추진제로서 KAIST에서도 2000년대에 활발한 연구를 통해 높은 분해 성능과 안정적인 작동이 가능한 추력기 기술을 확보하였다[4]. 따라서 이를 바탕으로 블렌딩 기법을 적용하여 그 성능을 하이dra진에 견줄 수 있을 정도로 향상시킬 수 있다. 블렌딩 기법을 적용할 경우 단일 추진제와 연료가 서로 잘 혼합되어야 하며, 과산화수소와 에탄올은 혼합에 있어서 큰 문제가 없었다. 연료의 선택에 있어서 메탄올과 에탄올을 비교하였으며, CEA 계산을 통해 발생하는 비추력은 에탄올이 약간 높았으나 큰 차이가 나지 않았다. 그러나 메탄올은 부식성이 강하고 저장성 평가 실험에서 다소 낮은 저장성을 갖는 것으로 나타났기 때문에 에탄올을 연료로 선정하였다[3].

2.2 연료 혼합비의 선정

과산화수소에 에탄올을 블렌딩할 경우 반응기 온도 상승은 필연적이다. 따라서 재료의 사용 한계온도와 성능을 고려하여 혼합비를 선정하여야 한다. 혼합비를 낮게 할수록 성능은 증가하지만 그와 함께 반응기 온도가 증가하기 때문에 별도의 냉각 장치를 사용하기 어려운 추력기에서는 선택의 한계가 있다. 또한 연소 불안정성 등의 영향을 최소화하고 안전을 고려하여 초기 혼합비를 선정하도록 하였다. 블렌딩 기법은 성능 향상이 근본적인 목적이기 때문에 98 wt.% 과산화수소보다 높은 성능을 갖는 혼합비를 선택하였다. 선택한 혼합비는 50이고 노즐 면적비 50에서 진공 비추력은 98 wt.% 과산화수소보다 약 9 초 높은 196 초이며, 반응기 온도는 1018 °C이다.

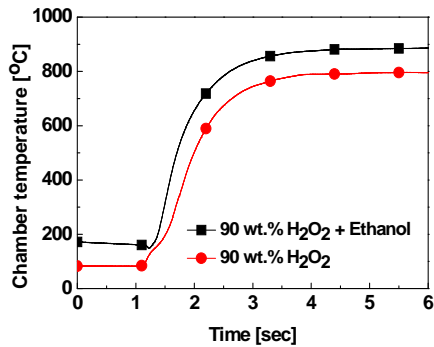


Fig. 1 Comparison of chamber temperatures for two different propellants

3. 블렌딩한 과산화수소의 성능 향상

에탄올을 블렌딩한 과산화수소의 성능 평가를 위해서 90 wt.% 과산화수소와 블렌딩한 과산화수소를 각각 10 N 급 추력기에 분무하여 비교하였다. Figure 1에 나타난 온도 그래프에서 블렌딩한 과산화수소의 반응기온도가 90 wt.% 과산화수소보다 증가한 것을 알 수 있다. 이는 첨가된 에탄올의 연소 반응에 기인한 것으로서, 블렌딩 기법을 적용하여 과산화수소의 성능을 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다. 또한 반응기 압력의 불안정성은 최대 2.4% 수준으로 안정적이라고 할 수 있다. 즉, 안정적으로 에탄올 연소를 통해 성능 향상이 가능하다고 할 수 있다.

4. 촉매 종류에 따른 분해 성능 평가

4.1 촉매 지지체에 따른 성능 평가

에탄올을 블렌딩한 과산화수소는 반응기 온도가 높기 때문에 혼합비에 따라서 기존 과산화수소에서 사용한 Pt/ γ -Al₂O₃ 촉매를 사용할 수 없을 수가 있다. 현재 사용하는 혼합비인 50에서는 γ -Al₂O₃를 사용하여 성능 평가를 하는데 있어서는 큰 문제가 없었다. 그러나 보다 높은 반응기 온도를 갖도록 혼합비를 낮추게 될 경우 γ -Al₂O₃의 상변화로 인해 작동 중 성능이 저하될

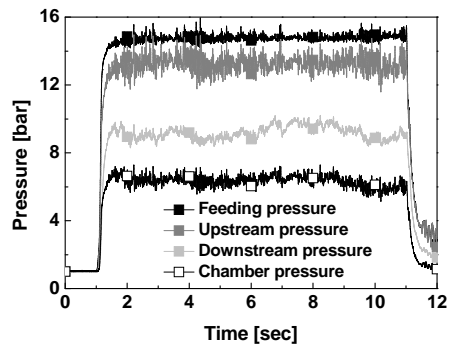


Fig. 2 Pressure graphs of Pt/ α -Al₂O₃ catalyst

우려가 있다. 따라서 γ -Al₂O₃보다 내열성이 높은 α -Al₂O₃를 지지체로 하는 촉매를 제작하여 성능 평가를 실시하였다. 실험 결과 Pt/ α -Al₂O₃ 촉매를 사용한 경우, 분해 성능이 높지 않기 때문에 Fig. 2와 같이 매우 불안정한 압력 곡선을 보였으며, 이 때의 압력 불안정성은 약 20%에 달했다. 이는 α -Al₂O₃의 질량대비 비표면적이 매우 낮고 노출된 표면이 비교적 매끄러운 편이기 때문에 촉매의 담지가 제대로 이루어지지 않아 성능이 저하된 것으로 보인다.

4.2 망간 촉매의 성능 평가

백금은 성능이 높으나 단가가 높은 단점이 있다. 망간 촉매의 경우 백금 대비 제작 단가가 매우 낮으며 다수의 실험에서 높은 분해 성능을 보이고 있음을 확인하였다[5]. 따라서 망간 촉매의 성능 평가를 실시하였다. 실험 결과 안정적인 분해 반응을 보였으나, 재사용 시 Fig. 3와 같이 촉매 성능 저하로 인한 압력 불안정성이 크게 증가하였다.

4.3 촉매 입자 크기에 따른 성능 평가

촉매 입자의 크기가 작을수록 노출되는 표면적 증가로 인해 분해에는 유리하지만 압력 강하가 커지기 때문에 추력기에 맞는 적절한 촉매 입자 크기의 선정이 중요하다. Pt/ γ -Al₂O₃를 각각 30-40 mesh와 16-20 mesh 크기로 분류하여 실험을 진행하였으며, 표 1에 실험 결과를 요약

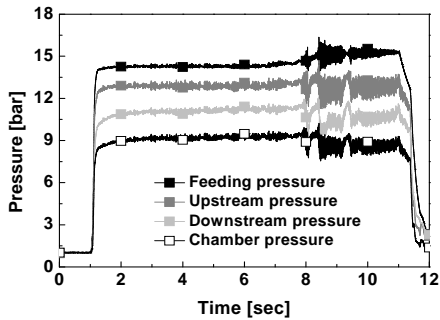


Fig. 3 Pressure graphs of Manganese oxide/ γ - Al_2O_3 catalyst

하였다. 실험 결과 30-40 mesh 사이즈의 경우 촉매에서의 압력강하가 매우 컸으며, 이로 인해 반응기 압력이 매우 낮게 형성 되었다. 또한 압력 불안정성이 컸으며, 불필요한 압력강하가 컸기 때문에 특성 속도 효율 역시 낮았다. 촉매 사이즈를 16-20 mesh로 증가시킴에 따라 촉매에서의 압력 강하가 줄어들었다. 그와 더불어 온도 효율은 비슷한 수준을 유지하고 있기 때문에 촉매 사이즈 증가로 인해서 추진제의 완전한 분해 및 연소가 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 따라서 10 N급 추진기에서는 16-20 mesh 크기의 촉매를 사용하는데 있어서 큰 무리가 없다고 판단된다.

5. 결론

친환경 추진제인 과산화수소의 성능 증가를 위해서 에탄올을 블렌딩하여 성능 평가를 실시 하였다. 블렌딩한 과산화수소의 반응기 온도가 90 wt.% 과산화수소의 단일 분해 온도를 상회하는 것으로 나타났으며, 안정적인 분해 및 연소가 이루어졌다. 다양한 촉매의 비교 실험 결과 망간 촉매는 재사용 시 성능저하로 인한 불안정성이 발생하였으며, 내열성이 높은 지지체인 α - Al_2O_3 를 사용할 경우에도 불안정성이 높았다. 또한 촉매 입자의 크기에 따라 불안정성이 증가하였다.

Table 1 Experimental results of two catalysts different in size

Catalyst size	16-20	30-40
P_{chamber} , bar	7.9	4.1
Pressure instability, %	2.4	7.4
C^* efficiency, %	71.6	53.1
Temperature efficiency, %	89.3	87.7
$\Delta P_{\text{catalyst}}$, %	19.5	55.9

참고 문헌

- Ventura, M. and Mullens, P., "The Use of Hydrogen Peroxide for Propulsion and Power," 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, 1999
- Anflo, K., Persson, S., Thormahlen, P., Bergman, G., and Hasanof, T., "Flight Demonstration of an ADN-Based Propulsion SYstem on the PRISMA Satellite," 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2006
- 이정섭, 장동욱, 권세진, "블렌딩 기법을 적용한 과산화수소 추진제의 저장성 및 재료 적합성 평가," 한국추진공학회 2011년도 추계학술대회논문집, 2011, pp.150-158
- An, S. and Kwon, S., "Scaling and Evaluation of Pt/ Al_2O_3 Catalytic Reactor for Hydrogen Peroxide Monopropellant Thruster," Journal of Propulsion and Power, Vol. 25, No. 5, September-October, 2009, pp.1041-1045
- An, S., Jin, J., Lee, J., Jo, S., Park, D., and Konw, S., "Chugging Instability of H_2O_2 Monopropellant Thrusters with Reactor Aspect Ratio and Pressrues," Journal of Propulsion and Power, Vol. 27, No. 2, March-April, 2011, pp. 422-427