

분해된 과산화수소를 이용한 케로신의 자연점화특성 조사

조성권* · 권세진**

An investigation of autoignition characteristics of kerosene by decomposed hydrogen peroxide

Sungkwon Jo* · Sejin Kwon**

ABSTRACT

Traditional propellants which have a hypergolic characteristic have a high performance but also have disadvantages of toxicity and complex handling requirement. In order to replace these propellants, one of the alternatives is hydrogen peroxide which generates high temperature oxygen and water vapor after catalytic reaction. In this paper, autoignition characteristics of kerosene by decomposed hydrogen peroxide were investigated to perform fundamental research for designing a thruster using hydrogen peroxide and kerosene propellants. Contraction ratio, whether flame holder exists or not, and feeding pressure of propellants were selected as variables. From the experiments for different mixture ratio, we confirmed the ignition stability is strongly affected by a feeding pressure of propellants.

초 록

기존의 자연점화특성을 지니는 추진제는 성능이 높은 대신 독성이 있으며 다루기 어렵고, 환경에 유해한 단점을 지닌다. 이에 따른 대안으로 과산화수소의 촉매분해 후에 발생하는 고온의 산소와 수증기를 이용한 자연점화 방식이 있다. 이 논문에서는 자연점화 방식의 과산화수소/케로신 추력기를 설계하기 위한 기초연구를 수행하기 위해 자연점화특성을 연구하였다. 추력기의 형상변수로 노즐 목의 면적을 달리하여 연소챔버와의 단면적 비인 수축비를 달리하였으며, flame holder의 유·무, 과산화수소와 케로신의 가압압력에 따른 점화특성 및 연소안정성을 관찰하였다. 그 결과, 대부분의 경우에 자연점화를 관찰할 수 있었으나, 가압압력의 조건에 따라 연소 안정성에는 큰 변화가 있음을 확인할 수 있었다.

Key Words: Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Kerosene(케로신), Hydrogen peroxide(과산화수소), Autoignition(자연점화)

1. 서 론

* 정회원, KAIST 항공우주공학과
 ** 정회원, KAIST 항공우주공학과
 연락처, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

오늘날 환경에 대한 관심이 높아지면서, 독성이 강하고 인체에 유해한 추진제들을 대체하기 위한 노력이 많은 연구진들에 의해 수행되고 있다. 이러한 이유로 기존의 추진제를 대체할 수

있는 친환경 과산화수소는 단일추진 시스템의 추진제 및 이원추진 시스템의 산화제로 사용될 수 있어 그 잠재력이 높다고 할 수 있다[1].

과산화수소를 사용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 촉매를 이용한 단일추진제[2], 촉매 분해된 과산화수소를 이용한 점화 특성 연구[3,4], 낮은 추력의 이원추진 시스템 개발을 위한 연구[5] 등이 있다.

이원추진 시스템은 단일추진 시스템에 비해 성능이 좋지만, 구조가 복잡하고 연료와 산화제의 효율적인 혼합을 위해 오리피스형의 인젝터를 사용하기 때문에 가격이 고가인 단점을 지닌다. 이 논문에서는 스프레이형 인젝터를 사용하여 비용을 줄일 수 있는 과산화수소/케로신 추력기의 자연점화 특성 연구를 수행하였으며, 실험변수로 노즐 목의 면적과 연소챔버의 단면적 비율인 수축비, flame holder의 유·무 그리고 추진제의 가압조건을 선정하였다.

2. 추력기 설계 및 방법

과산화수소 분해를 위한 촉매로 가격대비 성능이 우수한 MnOx계열의 촉매를 사용하였다. 촉매의 활성화를 위해 촉매 지지체로 알루미늄 펠렛을 선정하였으며, 반응면적을 증가시키기 위해 12~16mesh의 크기로 지지체를 가공하여 사용하였다. 또한 과산화수소를 충분히 반응시키기 위한 반응기의 크기설계는 안 등[2]이 제시한 방법을 이용하여 결정하였다.

케로신의 공급을 위해 스프레이형 인젝터를 사용하였으며, 분사각은 55°, 오리피스 직경은 0.3 mm이었다. 케로신의 유량은 인젝터 앞·뒤의 압력차로 계산되어 질 수 있으며, 관계식은 식 (1)과 같다.

$$\dot{m} = C_d A \sqrt{2\rho\Delta P} \quad (1)$$

이 때, $C_d A$ 값은 실험적으로 구하였으며, 그 값은 1.52×10^{-7} 로 측정되었다.

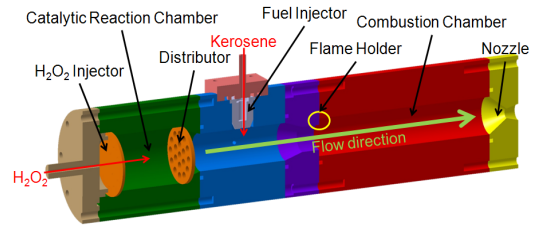


Fig. 1 H₂O₂/Kerosene 추력기 계략도

Figure 1은 실험에 사용된 추력기의 계략도를 나타내었으며, 챔버와 노즐 목의 면적비인 수축비(Contraction Ratio, A_c/A_t)와 flame holder의 영향을 알아보기 위해 모듈화하여 설계하였다. 노즐 목의 직경은 5 mm와 6.3 mm의 두 가지 경우에 대하여 실험을 수행하였으며, 이 때 수축비는 각각 16과 10.08이다. 또한 챔버길이는 10 cm로 특성길이는 각각 1.6 m와 1 m이다.

과산화수소는 총 5 s동안 공급되며, 초기 3.5 s는 단일추진제모드, 그 후 1 s동안 케로신을 분사하여 이원추진제모드를 거쳐 점화특성을 확인하였다. 자연점화의 특성을 확인하기 위한 실험이며, 작동시간이 짧기 때문에 별도의 냉각장치는 구성하지 않았다.

3. 실험 결과

3.1 자연점화

과산화수소는 22 bar의 압력조건에서 가압하였으며, 그 보다 낮은 압력조건에서 케로신의 분사압력을 설정한 결과 대부분의 실험조건에서 화염을 관찰할 수 있었다. Fig. 2는 당량비가 1.16인 경우, 시간에 따른 압력을 보여주고 있으며, 점화이후 약 3 bar의 압력이 증가하며, 안정적으로 연소되는 것을 확인할 수 있다. 수축비의 변화에 따라 챔버의 압력은 약 1~2 bar의 차이를 보였다. 수축비가 16인 경우, 모든 실험조건에서 점화되었으나, 수축비가 10.08이며, 당량비가 0.52인 Fig.3의 경우에 점화되지 않았고, 이는 챔버압력 감소에 따른 점화실패로 Sisco 등[6]의 실험결과와 유사한 경향을 보인다.

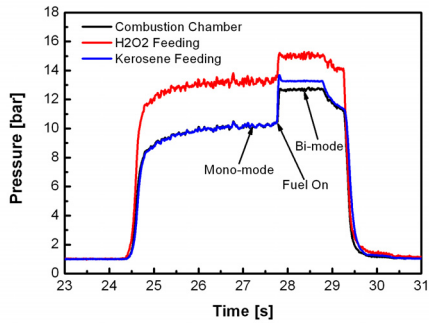


Fig. 2 연소챔버 및 추진제의 가압압력에 대한 그래프; $\Phi=1.14$, $CR=16$, without Flame Holder

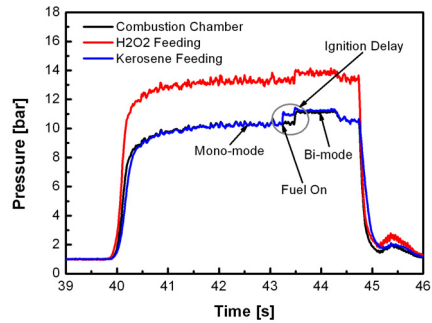


Fig. 4 연소챔버 및 추진제의 가압압력에 대한 그래프; $\Phi=0.56$, $CR=16$, Flame Holder

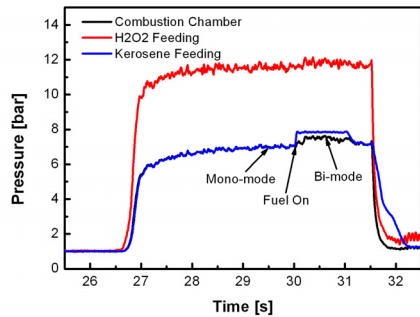


Fig. 3 연소챔버 및 추진제의 가압압력에 대한 그래프; $\Phi=0.52$, $CR=10.08$, without Flame Holder

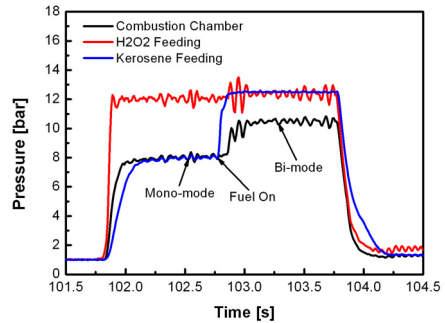


Fig. 5 연소챔버 및 추진제의 가압압력에 대한 그래프; $\Phi=0.97$, $CR=10.08$, without Flame Holder

당량비가 1이하인 경우, 화염을 관찰할 수 있었으나, Fig. 4에서 보인바와 같이 flame holder의 유·무와 관계없이 절반이상의 결과에서 점화 지연 시간이 200 ms 이상으로 증가함을 관찰할 수 있었다. 과산화수소의 가압조건보다 낮은 케로신 가압압력 조건으로, 당량비가 낮기 때문에 연료와 산화제의 혼합이 충분히 이루어지기 위한 시간이 필요하며, 이 경우 점화되는 영역은 인젝터에서 하류방향으로 이동할 것으로 예측된다. 즉, 낮은 반응성과 감소된 특성길 이로 성능은 감소할 것이다. 케로신 가압압력을 증가시킬 경우, 분사압력 증가와 함께 당량비도 함께 증가하였다. 실험결과 당량비가 1.51 이상인 경우부터 점화 지연이 최소화할 수 있었으며, 안정적인 화염을 관찰할 수 있었다.

3.2 추진제의 가압압력에 따른 화염안정성

과산화수소의 가압압력이 케로신의 분사압력보다 낮은 조건에서 다양한 당량비에 대하여 실험을 수행하였다.

Figure 5에 나타난 것과 같이, 과산화수소의 가압압력보다 케로신의 가압압력이 거의 동일할 경우, 점화 초기에 화염 불안정성을 보였다. 또한 가압압력의 큰 차이가 없음에도 당량비가 1인 경우 점화 지연을 확인할 수 있었다. 케로신의 가압압력을 증가시킬수록 화염 불안정성은 더욱 뚜렷이 관찰되었으며, 그 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 하지만 당량비가 증가할수록 점화 지연은 최소화되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 연료의 가압압력이 증가하면서 높은 압력의 케로신이 분사되면서 산화제의 가압압력보다 높기 때문에 상류에 영향을 미치면서 발생한 것으로 판단되며, flame holder와 수축비의 변화와 관계없이 모든 조건에서 불안정성을 보였다.

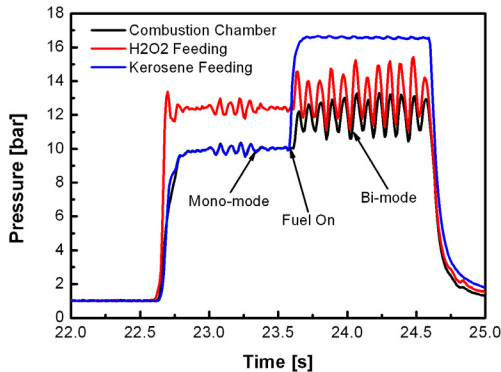


Fig. 6 연소챔버 및 추진제의 가압압력에 대한 그래프; $\Phi=1.65$, CR=16, without Flame Holder

4. 결론 및 향후계획

스프레이 타입 인젝터를 이용한 과산화수소/케로신 추진기의 자연점화 특성을 파악하기 위해 flame holder 유·무와 노즐 수축비의 변화, 추진제들 사이의 압력변화에 대하여 실험을 수행하였다. 그 결과 대부분의 실험조건에서 점화되는 것을 관찰하였다. 하지만 1이하의 당량비에서는 점화 지연현상을 확인하였으며, 챔버압력이 7bar, 당량비 0.52인 경우 점화되지 않음을 확인하였다. 과산화수소 가압압력보다 케로신의 가압압력이 높은 경우에는 flame holder나 수축비의 조건에 관계없이 모든 실험조건에서 화염 불안정성이 관찰되었다.

당량비의 변화에 따라 낮은 수축비를 갖는 노즐 및 flame holder의 역할을 확인하기 위한 추가적인 실험을 수행할 예정이다. 이러한 일련의 실험결과는 자연점화를 이용한 과산화수소/케로신 추진기설계의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사에 뜻을 전합니다. (No. R0A-2007-000-20065-0)

참고 문헌

1. Ventura, M., Wernimont, E., Heister, S., Yuan, S., "Rocket Grade Hydrogen Peroxide (RGHP) for use in Propulsion and Power Devices-Historical Discussion of Harzards," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Cincinnati, OH, July 2007.
2. 안성용, 권세진, "액체추력기 촉매베드 크기 결정을 위한 실험적 방법," 한국추진공학회지, 제12권 3호, 2008, pp.24-33
3. Coxhill, I., Richardson, G., and Sweeting, M., "An Investigation of a Low Cost HTP/Kerosene 40N Thruster for Small Satellites," AIAA Paper 2002-4155, July 2002.
4. 박근홍, 임하영, 권세진, "촉매 분해된 과산화수소 제트에 분사된 케로신의 자연발화 특성," 제14차 유도무기학술대회, 2007, pp.677-681
5. Sisco, J. C., Austin, B. L., Mok, J. S., and Anderson, W. E., "Autoignition of Kerosene by Decomposed Hydrogen Peroxide in a Dump-Combustor Configuration," Journal of Propulsion and Power, Vol. 21, No. 3, 2005, pp. 450-459