

친환경 추진제를 사용하는 액체로켓엔진 점화기의 설계 및 운용 조건이 점화 특성에 미치는 영향

황오식* · 김태완* · 전준수* · 고영성* · 김 유** · 김선진***

Design of Hydrogen Peroxide/Kerosene Ignitor and Ignition Characteristic according to Operation Condition

Ohsik Hwang* · Taewoan Kim* · Junsu Jeon* · Youngsung Ko* · Yoo Kim** · Sunjin Kim***

ABSTRACT

Ignition performance tests were performed to develop a catalytic ignitor which used hydrogen peroxide and kerosene. Ignition characteristics were investigated by exit area of the catalytic bed, shape of kerosene injector and lead time of purge gas. The results showed that exit area of catalytic bed must be enough for non chocking condition and kerosene must be sprayed with swirl in the middle of catalytic bed. Also in case without preheating of catalytic bed, hydrogen peroxide must be leaded by 3sec, and purge gas must be supplied simultaneously or lately with kerosene.

초 록

본 연구에서는 과산화수소/케로신 촉매 점화기의 최적 설계를 위하여 점화기 설계와 운용 조건에 따른 점화 특성을 확인하였다. 그 결과 촉매대의 출구 면적은 분해된 가스가 쇼킹이 발생하지 않도록 충분하여야 하며, 케로신은 촉매대 중앙에서 미립화가 잘되도록 분무하여야 함을 확인하였다. 또한 점화기를 운용하는데 있어 예열이 없을 경우 과산화수소를 약 3초 정도 리드해야 하며, 퍼지는 케로신 공급과 같거나 늦게 공급하는 것이 바람직함을 확인하였다.

Key Words : Hydrogen Peroxide(과산화수소), Kerosene(케로신), Ignition Characteristic(점화 특성), Ignitor(점화기), Catalytic Bed(촉매대)

1. 서 론

근래까지 성능을 최우선하는 로켓 개발방향으로 인하여 로켓 추진제의 산화제는 상대적으로 고성능이며 저장성이 우수한 하이드라진, 사산화질소 등이 많이 사용되면서, 1900년대 후반에는 과산화수소를 로켓추진제로 활용하는 엔진은 거의 사용되지 않았다. 그러나 최근에는 환경 오염 문제가 중요한 이슈로 떠오르면서 독성 추진제인

* 충남대학교 항공우주공학과

** 충남대학교 기계공학과

*** 청양대학교 소방안전관리학과

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

하이드라진과 사산화질소를 대신하여, 다시 과산화수소가 로켓추진제로서의 관심을 받고 있는 실정이다. 또한 안정성이 크게 개선되고 고순도 과산화수소가 개발되면서 친환경성, 운영비용 등의 장점들과 함께, 이를 로켓추진제로 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3].

과산화수소와 케로신을 사용하는 액체로켓엔진의 점화 시스템은 주로 촉매점화 방식을 많이 사용하는데, 이 방식은 과산화수소가 촉매대(catalytic bed)를 통과하면서 고온의 수증기와 산소 가스로 분해되고 여기에 케로신을 분사하여 점화시키는 방식이다. 이 점화방식은 과산화수소의 분해 생성물에 케로신만 분무하면 되기 때문에 분사 시스템이 간단하고, 분해된 과산화수소가 높은 모멘텀을 가지므로 액체상태의 케로신을 빠르게 미립화 시킬 수 있는 장점이 있다[4]. 그러나 과산화수소의 분해 반응식은 간단하지만, 실제 촉매와의 반응성이 매우 복잡하므로 적절한 점화 특성을 갖는 촉매 점화기 개발이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 촉매 점화방식의 점화기 설계와 운용 조건이 점화 특성에 미치는 영향을 파악하여, 추후 촉매 방식 점화기를 최적 설계하여 과산화수소/케로신 연소기에 적용하는 것을 목표로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 점화기 설계

촉매 성분을 제외하고 촉매 점화기 설계 변수로 고려할 것으로는 촉매대의 출구 면적과 케로신 분사 방법이 있다. 먼저 촉매대의 출구 면적 설계는 촉매대에서 분해된 과산화수소가 출구를 통하여 나갈 때 초킹이 일어나는 것과 일어나지 않는 것으로 나누어 설계하였다. CEA code를 통해 과산화수소가 촉매 분해될 때의 물성치를 계산하고, 이를 이용하여 초킹이 일어나는 압력을 구하고 구해진 압력을 식 (1)에 대입하면 초킹이 일어나는 면적을 구할 수 있다. 점화기에 공급되는 과산화수소 유량은 $14g/s$ 이며, 이때 초킹이 발생하는 면적은 $59.42mm^2$ 이다. 따라서 출구 면적을 초킹이 일어나는 면적 ($37.7mm^2$)과

일어나지 않는 면적($103.7mm^2$)의 두 가지로 설계하였다.

$$A^* = \frac{\dot{m}}{P_0 \sqrt{\frac{\gamma}{RT_0} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}} \quad (1)$$

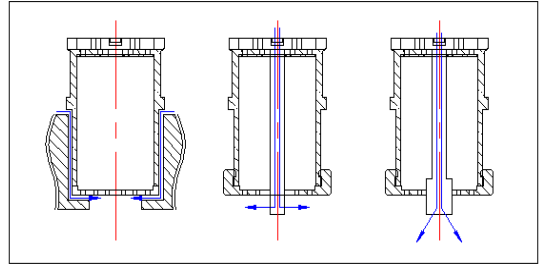


Fig. 1. Design of Kerosene Atomizer

케로신 분사 방법으로는 Fig. 1과 같이 촉매대 옆에서 분사되는 방식, 촉매대 중앙에서 옆으로 분사되는 방식, 촉매대 중앙에서 선회각을 가지고 분사되는 방식으로 설계하였다. 케로신의 분사 유량은 분사 방법에 상관없이 일정하게 유지하였다. 케로신을 옆에서 분사하는 방법은 촉매대 외곽에 유로를 만들어 케로신이 촉매대를 따라 흐르다가 촉매대 출구 부분에서 안쪽으로 분사되도록 설계하였고, 유량 제어는 상부에 오리피스를 설치하여 조절하도록 하였다. 케로신을 중앙에서 옆으로 분사하는 방법은 촉매대 중앙에 배관을 집어넣고 배관에 작은 구멍을 뚫어 옆으로 분사되도록 하였으며, 유량은 배관에 뚫은 유로의 직경을 조절하여 제어하도록 하였다. 마지막으로 중앙에서 선회각을 가지고 분사하는 방법은 촉매대 중앙에 배관을 집어넣고 배관 끝에 선회형 분사기를 장착하여 분사하도록 하였다.

2.2 운용 조건

운용 조건으로는 퍼지시퀀스, 과산화수소 리드 시간이 있다. 먼저 점화 퍼지가 케로신 공급 시기와 관련하여 퍼지 시퀀스를 변화시켰을 때 점화기의 점화 특성에 미치는 영향을 확인하였다.

케로신이 점화되기 위해서 충분한 점화에너지가 필요하다. 촉매를 이용한 점화 방식에서는 충분히 분해된 과산화수소의 열에너지가 점화 에너지 역할을 하기 때문에, 충분한 에너지를 공급할 수 있도록 과산화수소가 리드되어야 한다. 따라서 과산화수소 리드 시간에 따른 점화 여부와 점화 특성을 비교하였다.

2.3 공급설비

본 연구에서는 산화제로 95%의 과산화수소를 사용하였고, 연료로는 케로신을 사용하였다. 산화제 공급라인은 과산화수소와의 반응성이 적은 SUS 316을 사용하였다. 산화제와 연료를 공급하는 방식은 고압의 질소로 가압하는 방식을 사용하였다. Fig. 2는 공급설비의 개략도를 나타낸 것으로, 점화 유량 측정을 위해 공급 배관에 유량계를 설치하였으며 계측의 정확성을 위해 2개씩 설치하였다.

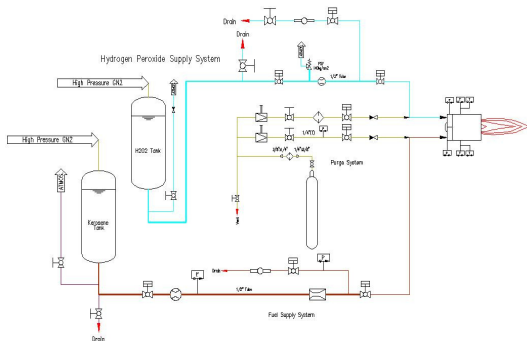


Fig. 2. Simplified schematic of supply system

3. 실험결과 및 고찰

3.1 촉매대 출구 면적 변화

점화기에 공급되는 과산화수소의 공급 유량은 14g/s, 케로신 공급 유량은 1.6g/s로 O/F ratio가 8.75인 상태에서 촉매대 출구 면적 변화에 따른 점화 특성을 살펴보았다. 이때, 케로신 분사기는 중앙에서 선회형으로 분사하는 방법을 사용하였다. 촉매대의 출구 면적을 37.7mm²과 103.7mm²으로 바꾸어 점화 특성을 관찰한 결과,

출구 면적이 37.7mm²인 경우 점화에 실패하였다. 하지만 출구 면적이 103.7mm²인 경우 85% 점화에 성공하였는데 이때의 15% 실패는 케로신 분사기의 문제로 판단된다. 두 가지 경우에서 케로신이 공급되기 직전의 과산화수소분해온도를 측정한 결과, 면적이 37.7mm²인 경우 620℃, 면적이 103.7mm²인 경우 750℃로 103.7mm²일 때 과산화수소의 분해온도가 높은 것을 확인하였다. 이러한 분해온도의 차이로 인하여 케로신 점화에 필요한 점화 에너지 공급의 차이가 점화 성공 여부를 결정하였다고 판단된다. 또한 초킹이 일어나는 경우 과산화수소 분해가스가 연소실로 급속히 유입되어 케로신과의 접촉 시간이 줄어들어 점화 효율을 떨어뜨린 것으로 판단된다.

3.2 케로신 분사 방법 변화

촉매대의 출구면적을 103.7mm²로 고정된 상태에서 케로신의 분사 방법에 따라 점화 시험을 수행한 결과, 케로신을 옆에서 분사하는 방법을 사용하였을 때 점화에 모두 실패하였다. 이 방식의 경우는 케로신의 유량이 적음에도 불구하고 케로신 출구 유로 면적이 다른 방식보다 넓어 케로신의 분무 상태가 좋지 않았기 때문에, 케로신과 과산화수소 분해가스의 접촉 반응이 제대로 이루어지지 않아 점화가 실패한 것으로 판단된다.

케로신을 중앙에서 옆으로 분사하는 방법을 사용한 결과 점화는 20%의 성공률을 보였으며, 그 중에 간혹 hard-start도 발생하여 촉매대망을 파손시켰다. 이는 케로신이 중앙에서 분사하여 과산화수소 분해가스와 반응이 잘 이루어지지만, 케로신의 미립화가 좋지 않아 낮은 성공률을 보인다고 판단된다. 또한 간혹 발생하는 hard-start는 케로신의 분사형태가 좋지 않아 촉매에 케로신이 접촉하여 발생한 것으로 판단된다.

마지막으로 중앙에서 선회형을 이용하여 분사하는 방법은 85%의 점화 성공률을 보였다. 이는 선회형 분사기는 60°의 분사각으로 분사되며 미립화 성능이 상대적으로 우수하여, 과산화수소 분해가스와 케로신의 혼합 특성이 양호하여 점

화 성공률이 높게 나왔다고 판단된다. 하지만 선회형 분사기는 부피를 많이 차지하여 촉매를 충전할 수 있는 부피가 감소하게 되었고, 이로 인해 점화에너지 공급에 다소 불리한 면을 가진다.

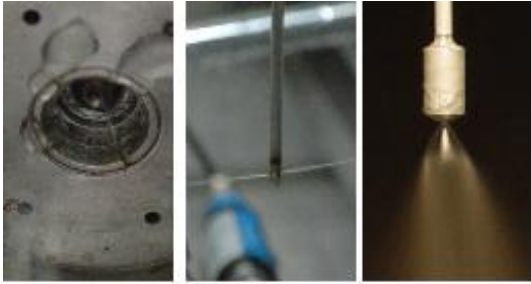


Fig. 3. Three Types of Kerosene Atomizer

3.3 과산화수소 리드 시간

과산화수소 리드 시간을 1~5초 사이에서 변화를 주며 실험한 결과 과산화수소가 최소 3초 이상 리드되어야 점화가 잘 이루어짐을 확인하였다. 점화가 되기 위해서는 어느 정도 이상의 점화에너지가 필요로 하며, 이를 위해서는 과산화수소가 적당 시간 리드되어 나와야 된다고 판단된다. 하지만 점화전 예열을 할 경우 리드시간이 짧아져도 점화 성능은 떨어지지 않았다. 이는 촉매대의 온도가 촉매의 성능을 향상시켜 과산화수소 분해가 더욱 촉진되어, 과산화수소 분해에 필요한 리드 시간이 감소된 것으로 판단된다.

3.4 점화 퍼지 시퀀스

점화기로 공급되는 과산화수소를 3초 리드한 상태에서, 점화기로 퍼지 가스를 공급하는 시간에 따른 점화 성능을 살펴보기 위한 시험을 수행하였다. 퍼지 가스 공급 시간을 케로신 공급 시점을 기준으로 3초전, 1초전, 동시에 바꾸어 점화 시험을 수행한 결과, 퍼지 가스가 케로신과 동시에 들어가는 경우만 점화에 성공하였다. 이는 퍼지 가스가 케로신보다 리드할 경우, 케로신 공급 초기에 퍼지가스와의 혼합으로 인하여 추진제 공급에 영향을 주어 안정된 O/F ratio와 충분한 점화 에너지를 만족시키지 못하였기 때문에 점화에 실패한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 과산화수소-케로신을 사용하는 촉매 점화 방식이 점화기의 점화 특성을 알아보기 위하여, 점화기 설계 변수와 운용 조건을 변화시키며 점화 실험을 수행하였다. 그 결과 촉매대의 출구 면적은 과산화수소 분해가스가 통과할 때 출구에서 초킹이 일어나지 않을 정도의 큰 면적으로 설계하여야 하며, 케로신은 중앙에서 스윙로 분무시키는 것이 좋으며 분사기의 부피는 최소로 설계하는 것이 바람직하다는 것을 확인하였다. 또한 점화기의 운용 조건으로는 예열이 없을 경우 과산화수소를 3초 정도 리드시키는 것이 필요하여, 점화 퍼지의 경우 케로신이 공급되는 시간과 동일하거나 조금 늦추어 공급하는 것이 점화에 유리하다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Antony J Musker, "Highly Stabilized Hydrogen Peroxide As A Rocket Propellant" AIAA Paper 2003-4619, July 2003
2. NASA News Releases, <http://www.nasa.gov/news/index.html> (99-114), 1999
3. W. Anderson, R. Boxwell, D. Crockett, R. Ross, T. Lewis, C. McNeal, K. Verdame (Orbital Sciences Corp.), "Upper-stage Flight Experiment",
4. J. C. Sisco, B. L. Austin, J. S. Mok, and W. E. Anderson, "Autoignition Of Kerosene By Decomposed Hydrogen Peroxide In A Dump Combustor Configuration", AIAA Paper 2003-4921, July 2003