

광학특성을 이용한 고체추진제 점화특성 연구

유지창*, 김인철*, 정정용*, 이경주*

The study of ignition characteristics of solid propellant using Arc Image Furnace

Ji Chang Yoo*, In Chul Kim*, Jung Yong Jung*, Kyung Joo Lee*

ABSTRACT

The objective of this study is to characterize design parameters of rocket igniters for composite, double base and nitramine propellant. Arc image furnace and fiber optics surface reflectometer were used to measure ignition delay time and reflected optical energy of several compositions of composite, double base and nitramine base rocket propellant at different pressure levels each other. The order of ignitability was double base > composite > Nitramine propellants at initial pressure of over 75 psia. The highest ignition energy was needed to ignite nitramine propellant, however, as the pressure increased up to the range of 75~400 psia as the ignition delay time decreased abruptly. The absorption of radiation energy could be increased by the addition of small amount of opacifiers as carbon black, ZrC, WC and burning catalyst.

초 록

본 연구는 로켓 모터의 추진제 점화 특성을 살펴보는 데 그 목적이 있으며 아크 이미지 고온 오븐을 사용하여 혼합형, 복기 그리고 니트라민 추진제를 대상으로 압력 변화에 따라서 점화지연시간을 측정하였다. 추진제 표면의 반사에너지를 측정하기 위해 광섬유 표면 반사계를 사용하였다. 추진제 점화성은 복기 추진제 > 혼합형 추진제 > 니트라민 추진제 순이었으며, 니트라민 추진제 점화에 가장 큰 점화 에너지가 필요했으나 압력이 75~400 psia 범위로 상승함에 따라 점화 지연 시간은 급격히 감소하였다. 소량의 오페시화이어를 첨가함으로써 흡수도를 증가시킬 수 있었다.

Key Words: 아크이미지, 광섬유 표면 반사계, 복사에너지, 추진제

1. 서 론

고체 추진제의 점화 특성을 이해하고 적은 비용으로 실제 로켓 모터의 점화 특성을 예측하는 방법으로는 아크 이미지(arc image furnace)와 CO₂ 레이저가 많이 사용되고 있다. 이 두 방법은 같은 복사 에너지를 이용하나, 전자에 의해

* 국방과학연구소 기-4-6
연락처, E-mail: yoojc@hanmail.net

서는 추진제의 성분 변화에 따른 점화 특성 데이터를 비교적 손쉽게 정확하게 얻을 수가 있으며, 주위 분위기의 가스 성분, 가스 압력, 외적으로 공급된 열 속이 크고, 작은 영향으로부터 점화 기구를 이해할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 실험적인 비이상성을 최소화시켰을 때 아크 이미지를 이용하여 추진제 조성 변화에 따른 점화 특성을 비교 연구하였다. 또한 광섬유 표면 반사계(fiber optics surface reflectometer)를 사용하여서 추진제 표면에서의 복사 에너지의 반사량을 측정하고 그 결과를 아크 이미지 고온 오븐에 의한 추진제 점화 에너지 측정에 보정하여 보다 정확한 시험 결과를 얻고자 하였다.

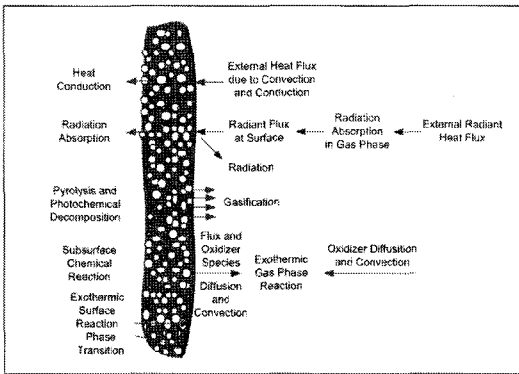


그림 1. 고체 추진제 점화의 물리적 과정.

일반적으로 고체 추진제의 점화현상은 그림 1에서 나타난 바와 같이 많은 물리화학 과정을 포함하는 복잡한 현상이다. 로켓 모터 내의 점화는 주로 추진제 표면에 고온의 입자를 분사시키는 열전도 방식 또는 추진제 표면에 고온의 가스로부터 가열시키는 대류에 의해 이루어진다. 복사는 실제로는 상대적으로 작은 부분을 차지한다. 점화의 초기 단계는 에너지 자극으로부터 시작되어 고체 상의 내부가 가열되어 분해가 일어난다. 대부분의 반응은 추진제 표면에서 시작되고 추진제 성분에 따라 추진제 표면에 용해층이 형성되며, 열전도, 복사, 표면 화학반응 및 열분해 등에 의해 용해층의 기화가 일어나거나 고체 층의 승화가 일어난다.

2. 실험장치 및 방법

아크 이미지 시스템을 그림 2에 나타내었다. 이 장치는 주된 에너지원인 복사에너지지를 변화시키면서, 일정온도에서 연소실 내의 초기압력 변화에 따라 고체추진제의 점화 에너지를 측정하게 된다. 주요장치는 1차 및 2차 반사경(알루미늄 코팅 오목거울), 제논 아크 램프(4200 W, Christie Electric Co.), 고속 셔터 시스템, 시편 연소실, 제어부로 구성되어 있다. 그림에 설명되지 않은 제어부는 전원공급기(HP-6469C), 제논 램프의 열량 제어부, 고속 셔터의 개방 시간을 조절하는 시간 조절부 및 압력 조절부로 구성되어 있다.

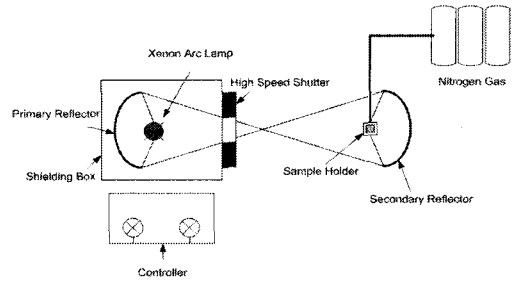


그림 2. 아크 이미지의 개요도.

고체 추진제 표면에서 복사 에너지의 반사량을 측정하기 위하여 광섬유 표면 반사계를 사용하였으며 장치도를 그림 3에 나타내었다. 주요 구성품은 전원 공급 부위, 점화기, 시편 홀더, 광섬유 케이블과 측정 부위로 구성되어 있다. 복사 에너지원으로는 아크 이미지에서 사용한 것과 동일한 파장 범위를 가지며 에너지는 상당히 작은 제논 아크 램프(150 W)를 사용하였으며, 에너지는 전원의 전류 변화와 셔터를 열어주는 시간에 의해 조절하였다.

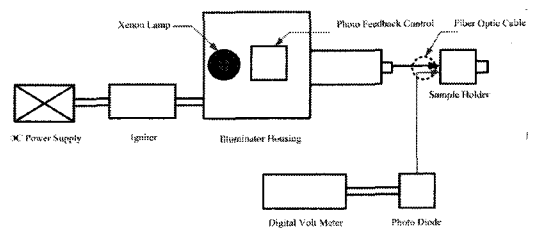


그림 3. 광섬유 표면 반사계.

3. 실험결과 및 고찰

시험 대상 추진제의 주조성과 복사 에너지 반사량을 측정된 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 추진제 조성 및 흡수도

| 추진제 | 주요 조성 | | | | | 흡수도 |
|------|-------|-----|------|--------|--------------------|------|
| | AP | RDX | Al | Binder | Additives | |
| A | 83 | - | 2 | 15 | - | 81.3 |
| B | 85 | - | 1.5 | 13 | 0.5 (Graphite) | 94.1 |
| C | 10 | 75 | - | 15 | - | 60.0 |
| D | 20 | 55 | - | 14.9 | 0.1 (Carbon Black) | 92.8 |
| | | NC | | NG | Etc. | |
| N-5 | 50 | | 34.9 | | 15.1 | 54.7 |
| AA-2 | 51 | | 38.6 | | 10.4 | 60.3 |

표 1에서 보면, 혼합형 추진제 A와 B는 각각 18.7%, 5.9%의 복사 에너지 반사량을 나타냈으며, RDX가 함유된 C와 D 추진제는 40%, 7.2%의 복사 에너지 반사량을 보였다. A와 C 추진제의 색은 회색과 흰색인 반면, 후자인 B와 D 추진제의 색은 그래파이트와 카본 블랙이 각각 0.5%와 0.1% 함유된 검정색으로 복사 에너지 반사량에 크게 영향을 준 것으로 판단된다. NC와 NG가 주조성인 복기 추진제인 N-5와 AA-2의 반사량은 각각 45.3%와 39.7%로 비교적 큰 값을 나타내었다.

추진제 표면에서의 복사 에너지 반사량은 추진제 구성원인 AP, RDX, Al, 바인더 및 첨가제 등의 광학적 특성에 기인되며 각 원료의 함량 변화에 따른 영향은 적은 반면 첨가제인 연소 촉매와 카본 블랙에 따른 추진제 색 변화에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이는 오페시화이어(opacifier)인 카본 블랙 첨가에 의해 추진제 표면에서 복사 에너지 흡수량이 크게 변함을 보여주고 있다. 오페시화이어인 카본 블랙의 영향은 현재까지 정량적으로 규명되지는 않았지만 복사 에너지에 의한 높은 확산 흡수도의 증가와 역 분산을 감소시키는 역할을 하는 것으로 설명되고 있다.

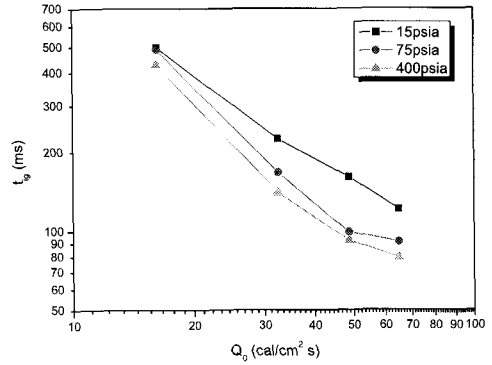


그림 4. A 추진제의 압력별 열량에 따른 점화 지연 시간.

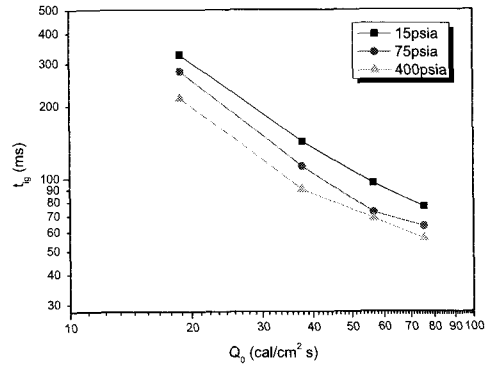


그림 5. B 추진제의 압력별 열량에 따른 점화 지연 시간.

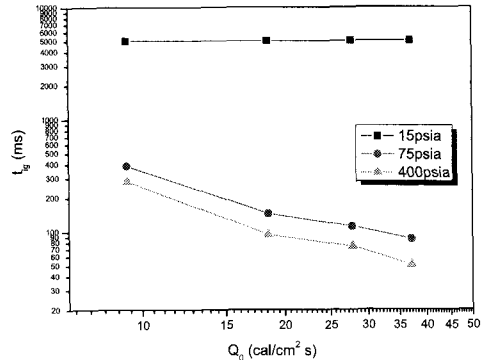


그림 6. D 추진제의 압력별 열량에 따른 점화 지연 시간.

혼합형 추진제 A와 B에 대하여 아크 이미지 고온 오븐을 이용하여 -40°C 의 일정 온도에서 초기 압력을 15, 75, 400 psia로 변화시키면서 광섬유 표면 반사계의 보정된 복사 에너지와 점화 지연시간과의 관계를 그림 4와 그림 5에 각각 대수 그래프로 나타내었다.

산화제로 RDX를 사용하는 니트라민 추진제 D에 대하여 아크 이미지 고온 오븐을 이용하여 초기압력을 15, 75, 400 psia로 변화시키면서 광섬유 표면 반사계에 의하여 보정된 복사 에너지의 변화에 따라 측정된 점화지연시간의 결과를 그림 6의 대수 그래프에 나타내었다.

초기 압력이 15 psia로 낮은 경우에는 복사 에너지의 증가에 관계없이 거의 점화가 일어나지 않았으며, 초기 압력이 75 psia와 400 psia로 증가하면서 복사 에너지의 증가에 따라 점화도 용이하고 점화지연시간도 크게 감소함을 보였다.

아크 이미지를 이용하여 복기추진제인 AA-2에 대하여 보정된 복사 에너지와 점화지연시간과의 관계를 그림 7에 나타내었다. 복사 에너지 흡수도는 54.7%로 작은 값을 나타내었다.

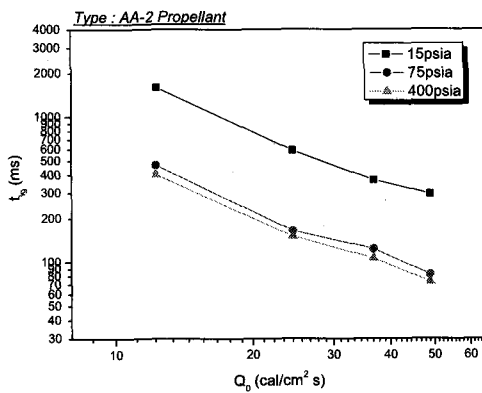


그림 7. AA-2 추진제의 압력별 열량에 따른 점화지연 시간.

AA-2 추진제는 초기 압력이 15 psia로 낮은 경우에는 복사 에너지의 증가에 관계없이 점화 지연시간이 크게 나타났고, 니트라민 추진제의 점화 특성과 거의 유사한 경향을 보였다. 압력이 75 psia에서는 복사 에너지량 증가에 따라 점화 지연시간이 급격히 감소하였으며 점화성도 좋은 것으로 나타났으며 압력이 400 psia로 높은 경우에는 압력이 75 psia일 때와 비교해서 점화 지연시간이 약간 더 감소하는 경향을 보였다.

4. 결 론

1. 오페시화이어인 카본 블랙 및 연소 촉매 등의 첨가로 복사 에너지 흡수율을 크게 증가시킬 수 있었다.
2. 초기 압력 75 psia이상에서 추진제의 점화성은 복기 추진제 > 혼합형 추진제 > 니트라민 추진제 순으로 나타났으며, 분해 온도 및 연소 표면의 온도 특성과 일치하는 경향을 보였다.
3. 복사 에너지 흡수도를 증가시키고 초기 압력을 75~400 psia의 범위로 최적화함으로써 점화를 용이하게 할 수 있었다.

참고 문헌

1. L. uca, L.H. Caceny, T.J. Ohlemiler, and M. Summerfield, "Radiative Ignition of Double Base Propellants", AD-A049008, 1976.
2. K.K. Kuo and M. Summerfield, "Fundamentals of Solid Proellant Combustion", Vol. 90, 1984.