

Research Paper

DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2016.20.1.037>

HTPB 바인더를 이용한 미 경화 추진제의 연소 특성

김낙현^{a,*} · 김정은^a · 홍명표^a

Burning Properties of Uncured HTPB Propellant

Nakhyun Kim^{a,*} · Jungeun Kim^a · Myungpyo Hong^a

^a2nd Project Team, Core Tech R&D Center, LIG Nex1 Co., Ltd., Korea

*Corresponding author. E-mail: nakhyun.kim@lignex1.com

ABSTRACT

In this study, we examined the burning rate of the uncured propellant (with and without a curing agent application) in order to inspect the process of the HTPB solid propellant. The burning rate of the uncured propellant, that did not contain the curing agent, was approximately 9.7 mm/s at 1000 psi. In relation to the curing time, the burning rate was constant. The propellant, with the curing agent application, was approximately 8.1 mm/s showed a tendency of slowing as it burned. When the cure reaction rate was low, in accordance to the time, there were small changes in burn rate. However, when the cure reaction rate was high, the difference in burning rate was increased. The burning rate of a fully-cured propellant was approximately 6.8 mm/s, which appeared to be the lowest in order.

초 록

본 연구에서는 HTPB를 적용한 고체추진제의 공정간 검사를 위해 경화제를 넣기 전과 넣은 후의 미 경화 추진제의 연소속도를 검토하였다. 그리고 경화제를 넣기 전 미 경화 추진제의 연소속도는 압력 1000 psi에서 약 9.7 mm/s 정도이며, 시간에 따른 연소속도 변화는 없었다. 경화제가 들어간 미 경화 추진제의 연소속도는 약 8.1 mm/s로 시간에 따라 느려지는 경향을 보였다. 경화반응 속도가 느린 미 경화 추진제는 시간에 따라 연소속도가 서서히 느려졌으며, 경화반응 속도가 빠른 미 경화 추진제는 연소속도가 빠르게 느려지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 완전히 경화된 추진제의 연소속도는 약 6.8 mm/s 정도로 가장 느린 것으로 나타났다.

Key Words: Uncured Propellant(미 경화 추진제), Strand Burner(스트랜드 버너), Burning Rate(연소 속도)

Received 1 December 2015 / Revised 8 January 2016 / Accepted 14 January 2016

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2015년도 추계학술대회(2015. 11. 25-27,

경주 현대호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

1. 서 론

고체 추진기관에 적용되는 HTPB(Hydroxyl

erminated polybutadiene)/AP(Ammonium perchlorate)계 추진제는 기계적인 특성, 연소특성, 노화특성, 공정성, 안전도 등 우수한 특성을 갖는 장점으로 인해 1970년 개발 이후부터 현재까지 군사용 유도탄에 널리 사용되어 왔다. 추진제의 주요성분은 프리폴리머인 HTPB와 가소제로서 DOA(Dioctyl Adipate) 또는 DOS(Dioctyl sebacate), 산화제로서 AP, 경화제로서 DDI(Dimeryl Diisocyanate) 또는 IPDI(Isophorone Diisocyanate)등이고 이밖에도 첨가제로 노화방지제, 연소촉매, 경화촉매, 결합제 등이다. 이들 추진제는 고체함량이 86-88%로 경화되기 전에는 고점도의 특성을 지니고 있다[1]. 이러한 고점도의 추진제를 균일하게 혼합하기 위해서는 sigma blade를 지닌 Vertical Planetary Mixer를 주로 사용하고 있다. 혼합이 끝난 후 추진제를 연소관에 주조하기 전에 추진제의 이상 여부를 판단하여 이상이 없는 것을 확인한 후 주조하여야만 된다. 그렇지 않으면 라이닝 된 연소관의 손실을 가져올 수 있다. 이때 추진제 혼합 공정 중에 추진제가 균일하게 혼합되었는지 이상이 있는지 공정 검사를 수행한다. 검사에는 첫째, 미 경화 추진제의 밀도를 측정하여 고체함량 즉 AP와 Al의 함량이 올바르게 투입되었는지를 확인하고 둘째, 미 경화 추진제의 연소속도(Burning Rate)를 측정하여 AP의 크기가 맞게 혼합이 되어 예상 속도와 일치하는지를 확인한다. 이들 공정 검사를 확인하여 이상이 없는 경우 추진제를 연소관에 주조를 시작한다. 미 경화 추진제 연소 속도를 측정할 때 경화제를 넣기 전에 측정하는 경우와 경화제를 넣은 후에 측정하는 경우가 발생하게 된다.

Fig. 1에 나타나듯이 첫 실험이 제대로 수행되지 않고 추가적인 두 번째 실험을 수행하였을 시 경화제가 투입된 미 경화 추진제의 경우 연소속도 측정 결과 연소속도의 차이가 발생되었으며 공정간 신뢰도가 떨어지게 된다.

따라서 고체 추진제 고유의 연소특성은 로켓 모터의 설계에 있어서 가장 필수적인 요소이다.

본 실험에서는 추진제에 경화제를 넣기 전과 넣은 후의 미 경화 추진제의 연소속도를 스트랜

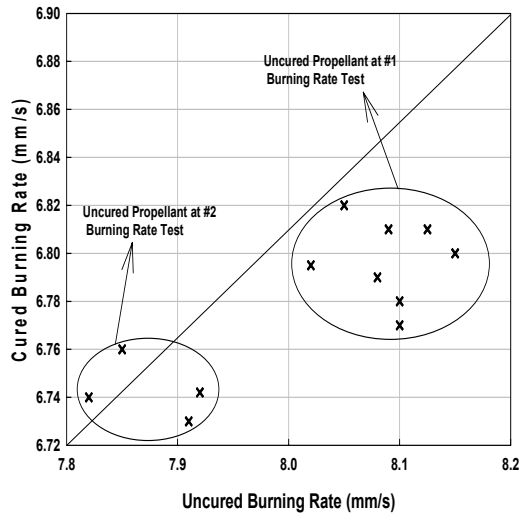


Fig. 1 Cured and uncured burning rate.

드 버너(Strand Burner) 장비를 이용하여 측정하였으며, 그리고 추진제의 경화반응 속도에 따른 연소속도를 비교하였고, 추진제의 점도 및 열 특성 분석을 진행하였다[2].

2. 추진제 조성 및 실험 방법

2.1 추진제 조성

추진제 조성의 결정은 추진제의 기계적특성, 연소특성, 노화특성 등 추진기관의 성능에 영향을 미치는 점을 고려할 때 추진제의 조성은 매우 중요한 부분을 차지한다. 본 연구에 사용된 추진제는 HTPB 프리폴리머와 경화제로 DDI를 사용하였으며 산화제로는 AP를 68-69%, 금속연료 Al 18-19%를 함유하였으며, 가소제, 결합제 연소촉매제, 노화방지제등 첨가제는 4% 정도 첨가되었다.

2.2 연소속도 측정

미 경화 추진제의 연소속도를 측정하기 위해서 Fig. 2와 같은 압력이 5000 psi까지 가능한 스트랜드 버너 장비를 사용하였다. 본 장비는 추진제로 특정 길이의 담배 형상 시험편을 만들고 용기 내의 압력을 일정하게 유지시킨 후, 시험편



(a) Strand burner system



(b) Air gun and cartridge set

Fig. 2 Strand burner system and uncured propellant tool set.

의 한쪽 끝을 접화시켜 시험편의 끝까지 연소되어 가는데 소요되는 시간을 측정하여 연소속도를 구하게 된다. 이러한 스트랜드 버너를 이용하면 안정적인 연소속도를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 시험편의 제작은 추진제 혼합이 완료된 미 경화 추진제의 경우 진공으로 6 온스 카트리지에 절반 정도를 담은 후 에어건을 사용하여 직경이 6~10 mm, 길이가 150 mm인 스트로우(Straw)에 약 40~50 psi 압력으로 밀어 넣는다. 밀어 넣을 때 스트로우 안에 기포가 생기지 않도록 천천히 에어를 가하여 추진제를 채운다. 그리고 경화된 추진제 시편과 동일하게 연소속도

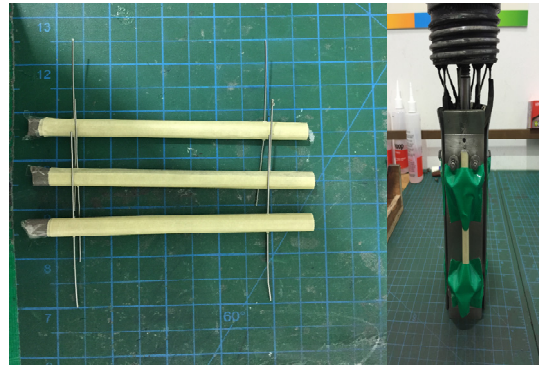


Fig. 3 Head-cell and uncured specimen.

측정 구간인 88.9 mm의 양단에 직경이 작은 드릴을 이용하여 구멍을 뚫은 후 휴즈를 집어넣어서 제작 한다. 연소속도 측정 시험은 시간에 따라서 연소속도가 변화되는 과정을 측정하기 위해 1시간 간격으로 대기 시간을 두어 총 6회 측정을 진행 하였다. 시험 온도는 20℃에서 진행 하였으며 시험 압력은 1000 psi에서 진행 하였다. 1회 시험에 대해 3개의 시편을 기본적으로 사용하였으며 Fig. 3에 나타난 스트랜드 버너 챔버에 장착되는 헤드-셀에 3개의 미 경화 시편을 장착하여 초고저온 냉동장치 챔버에 장착 한다. 이때, 순도 99% 질소가스 분위기에서 실험을 진행하였다.

23 추진제 점도 측정

미 경화 추진제가 시간 경과에 따라 경화되어 가는 과정에서 추진제의 점도를 알아보기 위해 점도 측정을 진행 하였다. 본 연구에서 사용된 점도계는 Brookfield(Model : RVT Type) viscometer를 사용하여 Spindle number F, RPM 2.5의 조건으로 50℃ 항온수조를 이용하여 충분히 안정화시킨 후 1시간 간격 총 6시간 동안 점도 변화를 확인하여 측정 하였다.

24 열적 특성 분석

추진제에 경화제가 투입된 미 경화 상태인 추진제를 시간에 따라 열적 변화를 확인하기 위해서 본 연구에서는 열적 특성 분석 장비인 TGA(Thermogravimetric analysis)를 사용하였으

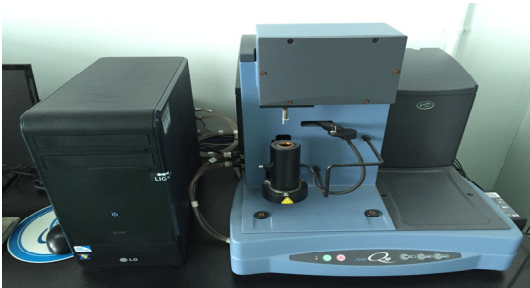


Fig. 4 Thermogravimetric analysis (TGA).

며 Fig. 4에 나타난 TGA는 TA instruments사의 장비(Model : Q50)이다. 열적 특성 분석은 각각 추진제에 경화제 투입 시, 투입 4시간 후, 투입 8시간 후를 기준으로 측정하였으며, 실험 조건은 40 ml/min의 질소 분위기에서 승온 속도 10℃ /min으로 상온에서 600℃까지 측정하여 열 분해 특성을 확인하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 미 경화 연소속도

본 연구에 사용 된 미 경화 추진제의 연소속도 결과를 다음 Table. 1에 정리 하였다. 경화제를 첨가하지 않은 추진제의 경우 시간의 변화에 따라 연소속도의 변화가 거의 없는 것으로 확인 되었다. 미 경화 추진제의 경화촉매제를 다르게 하여 경화반응속도에 따른 연소속도를 비교하여 Fig. 5에 나타내었으며, 미 경화 추진제의 연소속도 결과를 보면 경화반응 속도가 느린 미 경화 추진제(HTPB-S1)는 시간의 변화에 따라 연소속도는 천천히 느려지는 경향을 나타냈으며, 경화반응시간이 5시간 경과될 때 까지는 연소속도가 급격히 감소되는 것을 확인 할 수 있었다. 경화반응 속도가 빠른 미 경화 추진제(HTPB-S2)는 S1보다 연소속도의 감소율이 크게 나타났다. 그 이유는, S2 미 경화 추진제는 S1 추진제보다 경화반응이 빨라져 추진제 내부의 경화로 인하여 내부가 조밀하게 되어지고 따라서, 연소열이 내부로 전달이 늦게 되어 지므로 연소속도가 늦어진다고 볼 수 있다.

Table 1. The result of uncured propellant burning rate test (at 1000 psi).

Time (hr)	No Curing Agent	HTPB-S1	HTPB-S2
	rb (mm/s)	rb (mm/s)	rb (mm/s)
0	9.72	8.02	7.96
1	9.71	8.01	7.75
2	9.70	7.96	7.67
3	9.71	7.91	7.55
4	9.73	7.88	7.43
5	9.71	7.76	7.36
24	-	7.59	7.28

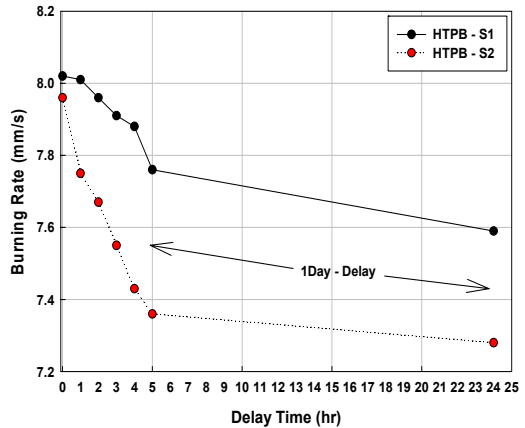


Fig. 5 Burning rate result of curing agent test.

3.2 추진제 점도

3.1항에서 경화반응 속도에 의해서 미 경화 추진제는 연소속도에 영향이 있었으며 경화반응속도를 알기위해서 추진제의 점도 측정을 수행 하였다. 미 경화 추진제의 점도 측정 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 경화반응 속도가 빠른 S2 추진제의 경우, 반응이 진행됨에 따라 분자량 증가로 시간 변화에 따른 점도가 크게 상승하였으며, S1은 S2와 비교하였을 때 점도 상승 속도가 느린 것을 확인할 수 있었다.

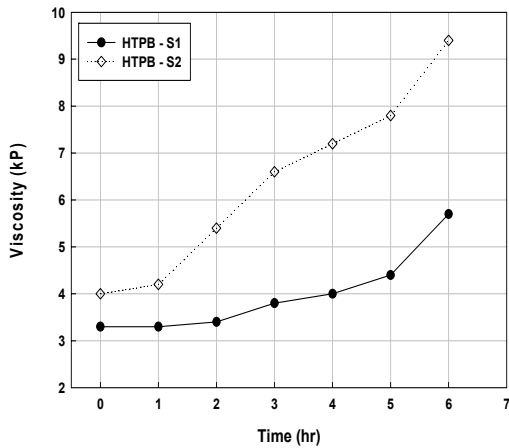


Fig. 6 Viscosity properties of HTPB propellant.

Table 2. The result of density with propellant.

	Uncured Propellant	Curing (1Day Delay)	Cured
Density (g/ml)	1.804	1.805	1.806

3.3 추진제 밀도

미 경화 상태에서 각각의 밀도를 측정한 결과 값은 Table. 2에 나타내었다. 경화제 투입 후 1시간 경과된 추진제의 밀도 값보다 하루가 지난 경화 추진제의 밀도 값이 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 추진제가 경화가 진행되는 과정 중 추진제 구조가 조밀해짐에 따라 연소속도 및 밀도 값에 영향을 주는 것 이라 추측된다.

3.4 추진제 열적 특성

추진제에 경화제가 첨가되었을 시 경화반응으로 인하여 가교밀도가 커지게 되고 분해되는 온도가 높아지게 된다. 온도가 높아지면 연소속도는 느리게 되는 현상이 나타나게 되는데 이 현상을 보기 위해서 TGA 장비를 통하여 경화제가 투입 된 후의 미 경화 상태인 추진제의 열적 특성을 측정하였으며, 결과를 Fig. 7에서 확인할 수 있었다.

추진제에 경화제 투입 시 2% 중량감소/온도 327.50℃, 투입 4시간 후 2% 중량감소/온도

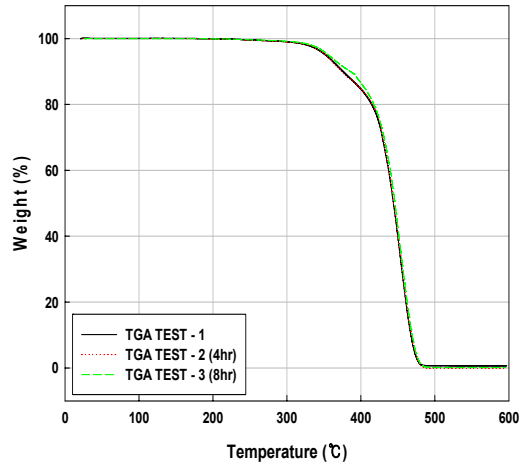


Fig. 7 Thermal properties of HTPB propellant.

328.34℃, 투입 8시간 후 2% 중량감소/온도 333.16℃으로 시간에 따라 열적 특성은 미세한 차이는 있으나 큰 변화가 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 이로 하여, 경화반응 속도에 따라 추진제의 분자량이 커져 밀도 값과 연소속도에는 영향을 미쳤으나, 열적 안정성에는 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 HTPB를 적용한 고체 추진제의 미 경화 상태에서의 경화제 및 경화 반응 특성을 고려한 연소속도 측정 및 기타 분석 방법을 통하여 추진제의 특성을 고찰 하였다.

(1) 경화제를 넣기 전 미 경화 추진제의 연소속도 측정 결과, 경화반응에 영향을 받지 않아서 연소속도의 변화가 거의 없었으며 본 실험에 사용된 추진제는 약 9.7 mm/s의 연소속도를 나타내었다. 경화제를 첨가한 후에는 추진제의 경화반응 속도에 따라 연소속도가 변화됨에 따라 추진제 혼합 공정 중에 이상 여부를 판단하기(연소속도 측정 실험의 실패 유무)위해서는 경화제를 넣기 전 연소속도가 변하지 않는 추진제를 측정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

(2) 경화제가 투입된 미 경화 추진제와 완전히 경화된 추진제의 연소속도 확인 결과, 경화된 추진제의 경우 내부구조가 조밀하여 추진제 내부로 열의 전달 효과가 작으므로 연소속도가 느리고, 미 경화 추진제의 경우는 고점도 유체이므로 내부로 열의 전달이 용이하고 연소속도가 보다 빠른 결과로 나타났다.

References

1. Oberth, A.E., *Principle of Solid Propellant Development*, Chemical Propulsion Information Agency, Baltimore, MD, USA, 1987.
2. Thakre, P. and Yang, V., *Solid Propellants*, Encyclopedia of Aerospace Engineering, John Wiley & Sons, Ltd., Chicester, UK, pp. 1-10, 2010.