

# 초음파를 이용한 Double Base형 고체추진제의 연소속도 측정

송성진\* · 고선필\* · 김학준\* · 오현택\* · 김인철\*\* · 유지창\*\* · 정정용\*\*

## Burning Rate Testing of Double Base Solid Propellants using Ultrasound

Sung-Jin Song\* · Sun-Feel Ko\* · Hak-Joon Kim\* · Hyun-Taek Oh\* · In-Chul Kim\*\* · Ji-Chang Yoo\*\* · Jung Yong Jung\*\*

### ABSTRACT

In the previous study, we have developed an ultrasonic measurement system and analysis technique for burning rate testing of solid propellants using ultrasound. And then, using the developed system, burning rate of composite propellants were measured. So, in this study, we performed measurement of double base solid propellant, which has non-linear burning rate as pressure increasing, using the developed system in order to evaluate capability of ultrasonic method. Furthermore, accuracy of measured burning rates using ultrasound was verified by comparison to burning rate measured by the strand burner method.

### 초 록

기존 연구를 통해 고체추진제 연소속도 측정을 위한 초음파 측정 시스템 및 연소속도 산정 기법을 개발하였으며, 개발 시스템을 적용하여 composite 추진제의 연소속도를 측정하였다. 본 연구에서는 연소 압력 증가에 따라 연소속도가 비선형적으로 변하는 double base형 고체 추진제 인 N-5와 AA-2 고체추진제의 연소속도를 개발 시스템을 이용하여 측정하였으며, 스트랜드버너법으로 측정된 값과의 비교를 통해 측정결과의 신뢰성을 평가하였다.

Key Words: Ultrasonic(초음파), Burning Rate(연소 속도), Solid Propellant(고체 추진제), Double Base

### 1. 서 론

어떤 고체추진제의 연소속도를 측정할 때는 넓은 압력범위에서 측정되어야 한다. 이것은 고체추진제의 연소속도가 압력과 온도에 따라 변하기 때문이다. 이를 위해 다양한 측정법들이 개발되었고 특히 스트랜드버너법이 표준측정기법

\* 성균관대학교 기계공학부  
\*\* 국방과학연구소 기.4.6  
연락처, E-mail: sjsong@skku.edu

으로 광범위하게 사용되고 있다.[1]. 하지만 스트랜드버너법은 정압조건에서 연소속도를 측정하므로 넓은 압력범위의 연소속도를 측정하기 위해 수많은 실험이 필요하다. 이것은 실험에 많은 시간이 소모되고 실험에 사용되는 추진제 및 실험장치의 유지에 많은 비용이 소요된다는 것을 의미한다.

이런 문제점에 대한 대안으로 초음파법을 이용해 연소속도를 측정하는 방법이 이미 오래전부터 제안되었다[2]. 초음파를 이용한 연소속도 측정 기법은 정적조건에서의 실험으로서, 한 번의 실험으로 전체 압력범위의 연소속도를 완벽하게 구현할 수 있고, 매순간 변하는 추진제 연소속도를 알 수 있기 때문에 매우 경제적인 뿐 아니라 효율적인 기법으로 간주되고 있다.

이전 연구를 통해 초음파법을 이용하여 고체추진제의 연소속도 측정 시스템 및 분석 프로그램을 개발하였고 composite 추진제의 연소속도를 측정하여 그 결과를 스트랜드버너법으로 측정된 연소속도와 비교하였다.

본 논문에서는 개발된 연소속도 측정 시스템과 분석 프로그램을 이용하여 composite 추진제와 다른 연소속도 특징을 가진 double base형 고체추진제의 연소속도를 측정하였다. Double Base형 추진제 중 N-5형과 AA-2의 연소속도를 측정하여 그 결과를 스트랜드버너법으로 측정된 연소속도와 비교를 통해 연소속도 측정의 신뢰성을 평가하였다.

## 2. 측정 시스템 및 분석 프로그램

Figure 1은 추진제 연소속도 측정 시스템의 개요도를 나타낸 것으로, 본 시스템은 초음파 탐촉자와 Pulsar/Receiver를 통해 초음파를 발진시켜 연소끝단과 Couplant와 Propellant의 경계면에서 반사되는 신호를 컴퓨터에 장착되어 있는 고속 A/D Converter를 통해 Digital 신호로 변환시켜 저장하고, 동시에 압력센서와 Charge Amplifier를 통해 연소압력을 측정하여 압력신호용 A/D Converter를 이용하여 압력 값을 컴퓨터에 저장

한 후, 이 두 세트의 데이터를 분석하여 연소 시 압력에 따른 Propellant의 잔존길이 및 연소길이를 계산하여 연소속도를 산출하는 시스템이다.

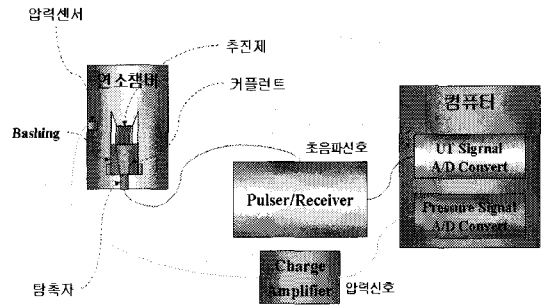


Fig. 1 An schematic diagram of propellant burning rate measurement system

다음 Fig. 2는 본 연구를 통해 제작한 시작품 사진으로 Fig. 1의 시스템 개요도를 실제 구현한 것이다.

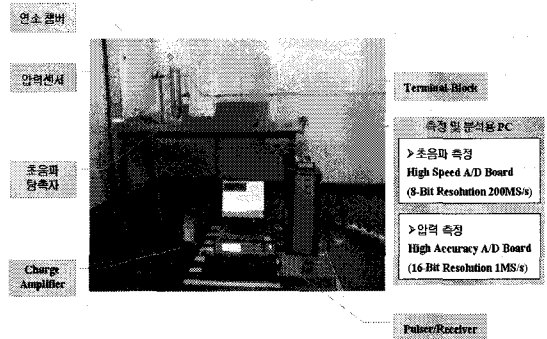


Fig. 2 A propellant burning rate measurement system

추진제 내부에서의 초음파 속도는 압력에 따라 변하기 때문에 추진제를 연소하기 전에 추진제의 음파속도 변화를 측정하기 위해 가압실험이 수행되어야 한다[3]. 가압실험을 통해 얻어진 압력에 따른 음속을 이용하여 연소실험 시 측정할 수 있는 추진제 경계면과 연소면의 초음파의 비행시간을 두 급수의 상관관계를 이용하여 시간차를 구하는 방법인 Cross-Correlation법[4]으로 Fig. 3과 같이 압력에 따른 연소속도 곡선을 구할 수 있다.

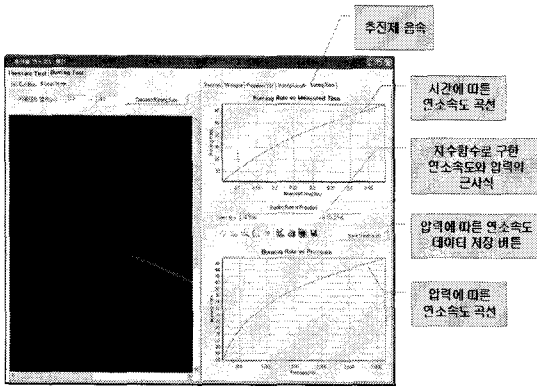


Fig. 3 Burning rate of an analysis program

### 3. 연소속도 측정 결과

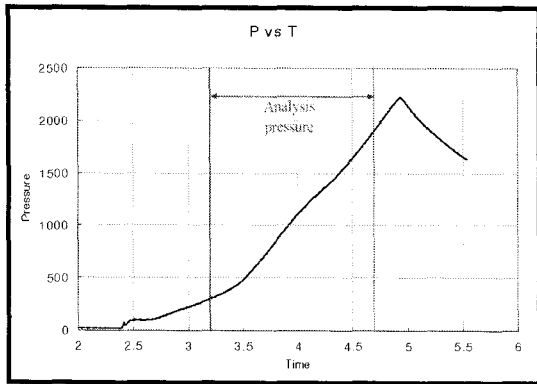


Fig. 4 A pressure curve measured in the pre-test of N-5 propellant

Figure 4는 분석 프로그램으로 측정된 double base형 추진제 중 하나인 N-5 고체추진제의 연소실험 중 시간에 따라 증가하는 압력 곡선이다. 이를 이용해 측정된 압력에 따른 연소속도 곡선을 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

2개의 추진제를 연소실험 한 후 각각 넓은 압력 범위의 연속적인 연소속도 곡선을 Fig. 5와 같이 나타내고 스트랜드버너법으로 측정된 압력에 대한 해당 연소속도를 점으로 같이 표현하였다.

Table 1은 스트랜드버너법의 해당 압력에서의 추진제 연소속도와 초음파법으로 구해진 연소속

도를 비교하였다. 추진제 연소속도에서 가장 중요시 되는 1000 psi에서의 연소속도 오차는 2.26%로 측정결과가 양호함을 알 수 있다.

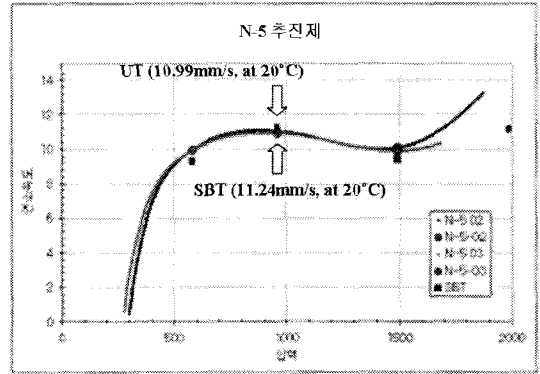


Fig. 5 Burning rate of N-5

Table 1. Compare burning rate of N-5 propellant

P 연소속도	578.50	958.70	1491.00
SBT	9.32	11.24	9.41
UR	9.96	10.99	10.00
상대오차	-6.83%	2.26%	-6.28%

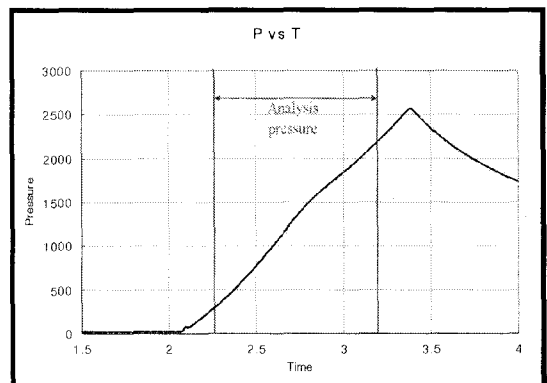


Fig. 6 A pressure curve measured in the pre-test of AA-2 propellant

AA-2 추진제도 N-5 추진제와 동일한 방법으로 Fig. 6을 이용하여 측정 압력에 따른 연소속

도 곡선을 Fig. 7과 같이 나타내었다.

2개의 추진제의 연소속도의 오차가 큼을 알 수 있고 Table 2에서 볼 수 있듯이 1000 psi에서의 연소속도 역시 5.05%의 오차로 N-5의 경우에 비해 측정 결과가 양호하지 못 함을 알 수 있다.

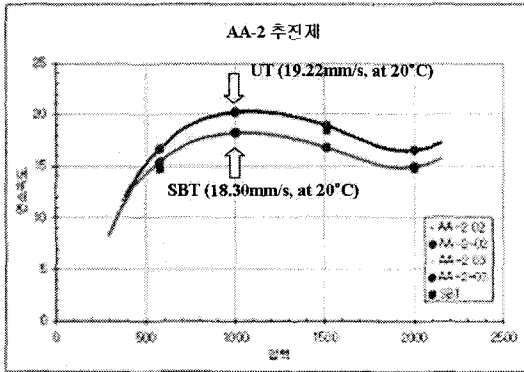


Fig. 7 Burning rate of AA-2

Table 2. Compare burning rate of AA-2 propellant

P 연소속도	578.40	1000.10	1510.00	2000.00
SBT	14.67	18.30	18.48	14.71
UT	16.02	19.22	17.85	15.76
상대오차	-9.19%	-5.05%	3.39%	-7.12%

#### 4. 결 론

본 연구에서는 double base형 고체추진제 연소속도를 측정하기 위하여 기존 정압조건인 스트랜드버너법을 대신해 한 번의 실험으로 전체 압력범위에 따른 연소속도를 측정할 수 있는 정적조건인 초음파법을 이용하였다.

Double Base형 추진제 중 N-5와 AA-2의 추진제 2개씩을 가압실험 및 연소실험을 통해 연소속도를 측정할 수 있었다.

사용빈도가 높아 가장 중요하게 측정이 요구

되는 1000 psi에서의 해당 연소속도는 N-5의 경우 스트랜드버너법은 11.24 mm/s, 초음파법은 10.99 mm/s로 2.26%의 오차를 보이고, AA-2 추진제의 경우 스트랜드버너법은 18.30 mm/s, 초음파법은 19.22 mm/s로 5.05%의 오차를 보인다.

Composite 추진제 뿐 아니라 double base형 고체추진제 중 대표적인 추진제 2종에 대한 연소속도를 측정하여 어느 정도의 연소속도 측정의 정확성을 평가하였다. N-5와 AA-2의 추진제 뿐 만 아니라 또 다른 추진제를 연소실험을 계속하여 고체추진제 연소속도 측정의 신뢰성을 높이는 연구를 지속적으로 수행하려 한다.

#### 참고 문헌

1. G. P. Sutton and O. Biblarz, Rocket Propulsion Elements 7th, A Wiley-Interscience Publication, New York, 2001, pp.417-430
2. R. A. Frederick Jr., J.-C. Traineau. and M. Popo, "Review of ultrasonic technique for steady state burning rate measurements" in 36th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA paper 2000-3801, Huntsville, AL, 2000
3. F. Dauch, R. A. Frederick Jr., Marlow D. Moser, and H. W. Coleman, "Uncertainty assessment of the pulse-echo ultrasonic burning rate measurement technique", 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA paper 1999-2224, Los Angeles, CA, 1999
4. J. J. Murphy, A. O. Martin, and H. Krier, "Precision techniques for measuring burning rates of solid propellants during pressure transients" in 36th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, AIAA paper 1998-0560, Reno, NV, 1998