

고체추진제 초음파 연소속도 측정 정밀도 향상을 위한 초음파 감쇠 분석

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

Analysis of Ultrasonic Attenuation for Improving Ultrasonic Burning Rates Measurement of Solid Propellants

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

ABSTRACT

Ultrasonic method is applied for measuring burning rates of the solid propellants, since it can measure burning rates as a function of pressure in a single test performed. However, to replace the stand burner method by the ultrasonic method, it is necessary to verify of its accuracy and reliability. In this study, we investigated the performance of the ultrasonic method for burning rate measurements by comparison to the strand burner results. Furthermore, we investigated the relation between the attenuations of solid propellants and data scattering in the measured burning rates.

초 록

고체추진제 연소속도 측정을 위한 초음파법은 한 번의 실험으로 연소속도를 측정할 수 있기 때문에 적용되어 왔다. 하지만 스트랜드버너법을 대체하기 위해서는, 초음파법의 정확성과 신뢰성이 증명되어야 한다. 본 논문에서는 초음파법을 이용하여 측정한 연소속도와 스트랜드버너법으로 측정한 결과의 차이를 비교하였다. 그리고 측정된 연소속도의 분산과 고체추진제의 초음파 감쇠와의 연관성을 조사하였다.

Key Words: Solid propellants(고체추진제), Burning Rate(연소속도), Ultrasonic Method(초음파법), Ultrasonic Attenuation(초음파 감쇠)

1. 서 론

고체추진제 연소속도 측정을 위해 다양한 측정법이 있지만, 그 중에서 스트랜드버너법이 표준측정기법으로 광범위하게 사용되고 있다[1]. 하지만 스트랜드버너법은 정압조건에서 연소속도를 측정하기 때문에 넓은 압력범위의 연소속도를 측정하기 위해 많은 실험이 필요하다. 이러

* 성균관대학교 기계공학부

** 국방과학연구소 기4-6

연락처, E-mail: sjsong@skku.edu

한 문제점을 해결하기 위하여 초음파법이 적용되어 왔다. 초음파법은 정적조건으로 실험하기 때문에, 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[2].

이전 연구를 통해[3], 초음파를 이용하는 고체 추진제 연소속도 측정 시스템 및 분석 프로그램을 개발하였고 시범적으로 연소속도를 측정하였다. 하지만 초음파법의 스트랜드버너법을 대체하기 위해서는, 초음파법의 정확성과 신뢰성이 증명되어야 한다.

초음파법으로 측정된 연소속도 결과는 사회, 공학적으로 요구되는 3% 이하의 오차를 가져야 한다. 하지만 일부 추진제의 경우 3% 이상의 오차를 나타냄을 확인하였다.

본 논문에서는 초음파법의 오차원인을 분석하기 위해, 대표적인 오차원인이라 판단하는 고체 추진제의 물성 중 하나인 초음파 감쇠에 대하여 조사하였다. 그리고 측정된 연소속도의 분산과 고체추진제의 초음파 감쇠와의 연관성을 조사하였다.

2. 초음파 연소속도 측정

이전 연구를 통해 개발된 초음파 연소속도 측정 시스템을 통해 몇 종류의 추진제의 연소속도를 측정하였다. 그 중 대표적인 추진제의 연소속도를 분석해 보았다.

Figure 1은 초음파법과 스트랜드버너법으로 측정된 317 추진제의 압력에 따른 연소속도 곡선이다. 1,000 psia에서 측정된 연소속도의 경우 초음파법과 스트랜드버너법의 측정오차가 2.5%임을 나타낸다. Fig. 1과 동일하게 Fig. 2는 double base형 추진제인 N5 추진제의 연소속도 곡선이다. double형 추진제의 경우 압력이 증가할지라도 연소속도가 증가하지 않는 "dark zone"의 구간을 확인할 수 있다.

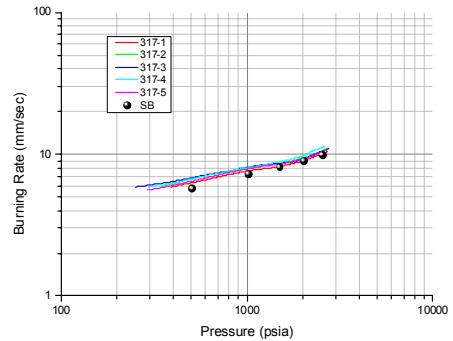


Fig. 1 Results of burning rate measurement for the solid propellant of type 317

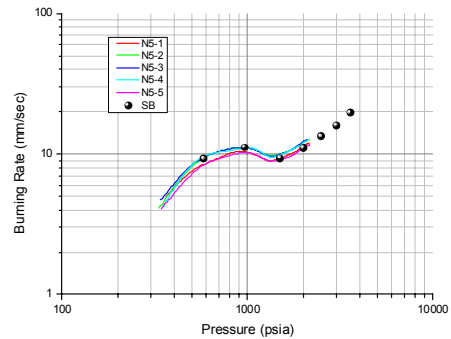


Fig. 2 Results of burning rate measurement for the solid propellant of type N5

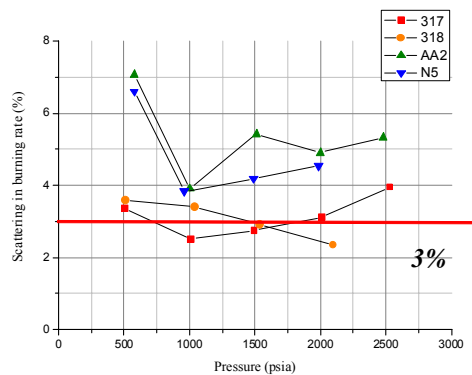


Fig. 3 Deviation of measured burning rates of the solid propellants from the average burning rates

측정된 연소속도로부터 초음파법의 연소속도 편차를 계산해 보았다. Fig. 3은 대표적인 4종류의 연소속도 편차 그래프이다. 측정된 고체추진제의 연소속도의 편차가 3% 보다 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

3. 초음파 감쇠 측정

Equation (1)을 이용하여 연소속도 편차에 영향을 주는 것으로 판단하는 고체추진제의 중요한 물성치인 초음파 감쇠를 측정하였다[4].

$$\alpha = -\frac{1}{2h_2} \ln \left[\frac{V_{BS1}(\omega)}{V_{FS1}(\omega)} \frac{R_{12}}{T_{12}R_{23}T_{21}} \frac{D_{FS1}(\omega)}{D_{BS1}(\omega)} \right] \quad (1)$$

V_{FS1} 는 경계면 신호 에코이고, V_{BS1} 은 연소면 신호의 에코이다. D_{FS1} 과 D_{BS1} 는 회절보정계수이고 R 은 반사계수, T 는 투과계수이다.

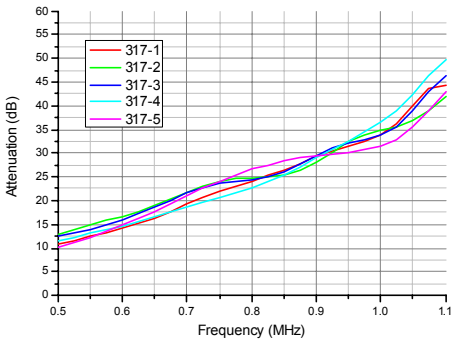


Fig. 4 measured attenuation of propellants (type 317)

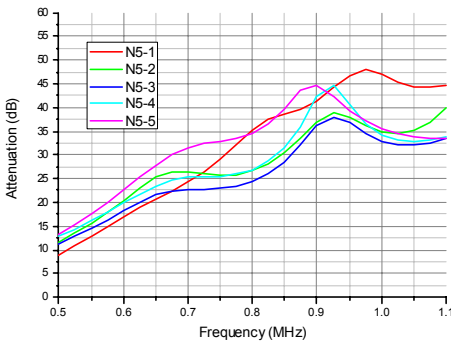


Fig. 5 Measured attenuation of propellants of type N5

Figures 4와 5는 각각 317, N5 추진제의 측정된 초음파 감쇠 값의 그래프이다. 초음파 감쇠 역시 연소속도와 비슷한 분산을 나타냄을 알 수 있다. 연소속도와 초음파 감쇠의 관계를 분석하기 위해 초음파 감쇠의 편차를 계산해 보았다.

계산된 연소속도와 초음파 감쇠의 분산 백분율로부터 연소속도 편차에 따른 초음파 감쇠 편차를 그래프를 구성할 수 있었다. Fig. 6은 추진제별 연소속도와 초음파 편차의 연관성을 보여준다. 모든 추진제 별 시편이 추정된 연관성을 따라가지는 않지만, Fig. 6은 초음파 감쇠의 편차 증가가 고체추진제 연소속도의 편차 증가에 영향을 미침을 잠정적으로 추론할 수 있다.

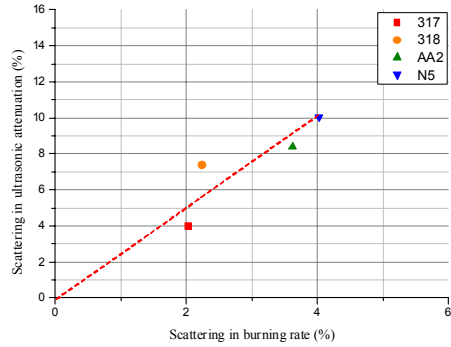


Fig. 6 Scattering in the attenuations and the burning rates

4. 결 론

기존 연구를 통해 개발된 고체추진제 측정시스템을 이용한 초음파법으로 고체추진제의 연소속도를 측정하였다. 초음파법으로 측정된 연소속도 결과가 3% 보다 큰 오차가 나타남을 알 수 있었다. 본 논문에서는 초음파법의 오차원인을 분석하기 위해, 대표적인 오차원인이라 판단하는 고체추진제의 물성 중 하나인 초음파 감쇠에 대하여 조사하였다. 연소속도와 초음파 감쇠 편차의 분석을 통해 초음파 감쇠의 편차 증가가 고체추진제 연소속도의 편차 증가에 영향을 미침을 잠정적으로 추론하였다. 그 결과 초음파 감쇠

의 측정을 통해 연소속도의 표준 값과의 편차를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 다양한 추진제의 초음파 감쇠를 분석하고 정밀한 초음파 감쇠의 분석을 통해 초음파법의 정확성과 신뢰성을 향상하는 연구를 수행하려 한다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소 지원에 의한 연구결과입니다.

참 고 문 헌

1. Sutton G. P. and Biblarz O., A wiley-Interscience Publication - Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2001, pp.417-430
2. Frederick Jr. R. A., Traineau J-C. and Popo M., "Review of ultrasonic technique for steady state burning rate measurements," 36th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA paper 2000-3801, 2000
3. 송성진, 전진홍, 김학준, 오현택, 김인철, 유지창, 정정용, "초음파를 이용한 고체추진제 연소속도 측정원리 및 시범시스템 개발," 한국추진공학회지, 제10권, 제4호, 2006, pp.61-68
4. Schmerr, L. W., Fundamentals of ultrasonic nondestructive evaluation - A Modeling Approach, Plenum, 1988