

초음파를 이용한 다양한 고체추진제의 고압범위까지의 연소속도 측정 정밀도 분석

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

Analysis of measurement Accuracy up to High Pressure for Various Solid Propellants using Ultrasound

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

ABSTRACT

In this study, we measured burning rates of solid propellants which has various burning rates until 5000 psia, and we evaluated measurement accuracy of ultrasonic method by analyzing error of burning rates. Also, We compared result of burning rates by using ultrasonic method with strand burner method so that characteristics of two measurements method are evaluated.

초 록

본 연구에서는 서로 다른 연소속도 범위를 갖는 다양한 고체추진제의 연소속도를 고압(~5,000 psia)까지 측정하였고, 측정된 연소속도의 자체적인 편차를 추진제 종류별, 압력별로 분석하여 초음파법의 측정 정밀도를 평가하였다. 또한 스트랜드 버너법을 이용한 연소속도 측정값과 상호 비교하여 두 측정 기법의 특성을 비교해보았다.

Key Words: Solid Propellants(고체추진제), Burning Rate(연소속도), Ultrasonic Method(초음파법), Measurement Accuracy(측정 정밀도)

1. 서 론

고체추진제 연소속도 측정을 위해 다양한 측정법이 있지만, 그 중에서 스트랜드 버너법이 표준측정기법으로 광범위하게 사용되고 있다[1].

하지만 스트랜드 버너법은 정압조건에서 연소속도를 측정하기 때문에 넓은 압력범위의 연소속도를 측정하기 위해 많은 실험이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 초음파법이 적용되어 왔다. 초음파법은 정적조건으로 실험하기 때문에, 한 번의 실험으로 전체 압력범위의 연소속도 곡선을 완벽하게 구현할 수 있고, 매순간 변하는 추진제 연소속도를 알 수 있기 때문에 매우 경제적인 뿐 아니라 효율적인 기법으로 간

* 성균관대학교 기계공학부

** 국방과학연구소 기4-6

연락처, E-mail: sjsong@skku.edu

주되고 있다[2].

이전 연구를 통해[3], 초음파를 이용하는 고체 추진제 연소속도 측정 시범 시스템 및 분석 프로그램을 개발하였고, 시범적으로 2,000 psia 압력범위까지의 연소속도를 측정하였다.

본 논문에서는 5,000 psia 압력범위까지 고체 추진제 연소속도 측정이 가능한 초음파 고체추진제 연소속도 측정 시스템을 개발하였고, 개발된 시스템을 통해 서로 다른 연소속도 범위를 갖는 다양한 고체추진제의 연소속도를 측정하였다.

그리고, 측정된 연소속도의 자체적인 편차를 추진제 종류별, 압력별로 분석하여 초음파법의 측정 정밀도를 평가하였다. 또한 스트랜드 버너법을 이용한 연소속도 측정값과 상호 비교하여 두 측정 기법의 특성을 비교해보았다.

2. 초음파 고체추진제 연소속도 측정 시스템

기존 연구를 통해 개발된 초음파를 이용하는 고체추진제 연소속도 측정 시범 시스템은 2,000 psia 압력범위까지 연소속도 측정이 가능하였다. 하지만 실제 사용되는 고체추진제의 연소속도는 그 이상의 압력범위이고 5,000 psia까지 측정해야만 한다.

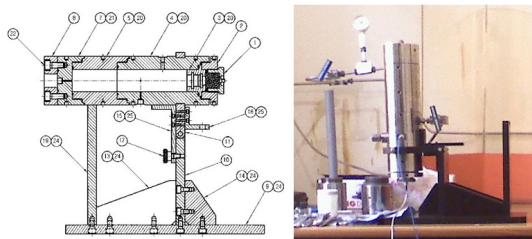


Fig. 1 Closed Bomb for High Pressure

본 연구에서는 5,000 psia까지 가압이 가능한 연소챔버를 Fig. 1과 같이 제작하였고, 기존 연구된 측정 알고리즘 및 프로그램을 수정, 보완을 통해 Fig. 2와 같은 초음파 고체추진제 연소속도 측정 시스템을 개발하였다. 기존 초당 800번인

초음파 신호 취득속도도 초당 2,000번 측정이 가능하게 보완하여, 고연소속도인 고체추진제의 연소속도 측정이 원활히 이루어질 수 있게 개발하였다.

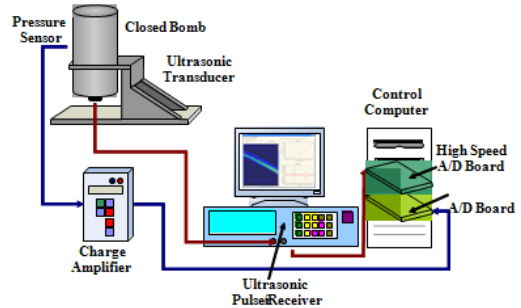


Fig. 2 The Schematic of Ultrasonic Burning Rate Measurement System

3. 연소속도 측정

Table 1. List of Solid Propellants

구분	추진제종류	시료 수	최고압력
고연소속도 (총 28개)	R07226-322	9	5200
	R07228-322	4	5700
	R08282-322	7	6650
	R07269-322	3	6000
	318	5	6600
보통연소속도 (총 51개)	102	6	5600
	401	7	4200
	601	6	5000
	AA2	6	4900
	N-5	6	4300
	317	5	4900
	302	5	5600
	501	5	6700
	502	5	5900
	저연소속도 (총 11개)	R08012-405	5
R08013-405		3	5000
R08014-405		3	4800
3부류	17종	90개	6700

개발된 시스템을 통해 다양한 고체추진제의 고압범위까지의 연소속도 측정하였다. Table 1은 본 연구에서 측정된 고체추진제 목록이다. 고체추진제는 서로 다른 연소속도 범위를 가지는데,

저연소속도, 보통연소속도, 고연소속도의 3부류로 분류하였다.

측정된 고체추진제의 종류가 많아 모든 결과를 보여줄 수 없기 때문에, Fig. 3과 같이 측정된 고체추진제 중 대표적인 추진제의 연소속도 결과를 나타내었다. 점으로 표시된 결과는 스트랜드 버너법의 연소속도이고, 선으로 표현된 결과는 초음파법으로 측정된 연소속도 결과 값이다.

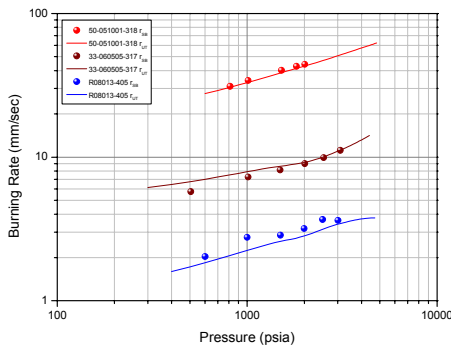


Fig. 3 Sample of Burning Rates of Solid Propellants

본 논문에서 측정된 연소속도는 신뢰성 증가를 위해 Table 1에서 보는 바와 같이 일반적으로 추진제 시편별로 5번의 실험을 하였다. 각각의 실험결과를 압력 변화에 따른 하나의 연소속도 선도로 표현한 뒤, Fig. 3에서 보는 바와 같

이 추진제 별로 하나의 연소속도 곡선으로 나타낼 수 있다.

Table 2는 Fig. 3의 결과에서 보인 연소속도 범위에 따른 대표적인 고체추진제의 연소속도 결과를 추진제 종류별, 압력별로 측정 편차와 스트랜드 버너법과의 상대 오차를 표기하였다.

Table 2에서 보이듯이 초음파법 측정 편차는 추진제 종류와 압력과 무관하게 대부분 2% 미만으로, 초음파법의 측정 정밀도가 우수함을 증명할 수 있는 근거가 될 수 있다. 하지만 스트랜드 버너법과의 상대오차는 1~20% 정도로 스트랜드 버너법과 초음파법의 결과가 동일하다 할 수는 없다. 더욱이 연소속도 압력범위가 저압일 경우와 저연소속도의 고체추진제의 경우 상대오차가 상대적으로 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

4. 결 론

기존 연구를 통해 개발된 초음파를 이용하는 고체추진제 연소속도 측정 시범 시스템을 기반으로 5,000 psia 압력범위까지 고체추진제 연소속도 측정이 가능한 초음파 고체추진제 연소속도 측정 시스템을 개발하였다.

개발된 시스템을 이용하여 서로 다른 연소속도 범위를 가지는 다양한 고체추진제의 고압범위까지의 연소속도 측정하였다. 측정된 연소속도

Table 2. Comparison of Burning Rates Results

구분	고연소속도 (318)				보통연소속도 (317)				저연소속도 (405)			
	압력 (psia)	rUT* (mm/sec)	초음파법 편차 (mm/sec)	rSB** (mm/sec)	상대 오차 (%)	rUT* (mm/sec)	초음파법 편차 (mm/sec)	rSB** (mm/sec)	상대 오차 (%)	rUT* (mm/sec)	초음파법 편차 (mm/sec)	rSB** (mm/sec)
1000.0	32.98	0.67	34.13	3.4%	7.91	0.05	7.27	8.8%	2.24	0.02	2.76	18.8%
1500.0	38.54	0.67	40.19	4.1%	8.64	0.09	8.12	6.4%	2.60	0.01	2.86	9.1%
2000.0	42.98	0.49	44.21	2.8%	9.19	0.11	9.00	2.1%	2.83	0.01	3.18	11.0%
3000.0	50.76	0.38			11.19	0.14	11.15	0.4%	3.41	0.06	3.63	6.1%
4000.0	57.49	0.47			13.17	0.06			3.71	0.06		

*Ultrasonic Method, **Strand Burner Method

의 측정 편차를 측정하여 추진제 종류별, 압력별로 측정 정밀도를 평가하였다.

초음파법 측정 편차는 대부분 2% 미만으로 초음파법의 측정 정밀도가 우수함을 증명할 수 있는 근거가 될 수 있지만, 스트랜드 버너법과의 상대오차는 1~20% 정도로 스트랜드 버너법과 초음파법의 결과가 동일하다 할 수는 없다. 더욱이 압력범위와 연소속도 부류에 따라 큰 차이를 나타내었다.

현재로서 초음파법의 측정 정밀도를 정확히 분석할 수 있는 표준적인 방법이 구축되어 있지 않기 때문에 본 연구에서 측정된 결과의 시비를 가릴 순 없다. 그렇기 때문에 향후 연구에서는 초음파법의 표준화를 위하여 고체추진제 연소속도 DB 구축을 하고, DB 구축을 통하여 초음파법의 측정 정밀도를 향상하려 한다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소 지원

에 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.61-686th ed., John Wiley & Sons Inc., 1992