

표준모터를 이용한 추진제 연소특성 분석

박의용, 최성한, 황종선

Combustion Property Analysis of Propellant using Standard Motor

Eui-Yong Park, Sung-Han Choi, Jong-Sun Hwang

ABSTRACT

We manufactured standard motor to measure burning rate of propellant, used to estimate burning rate of main motor by static fired testing. We installed static fired testing facility and developed standard motor more lightly to accomplish the test. As a result of the tests, we could get the burning rate closer than acquired by existing method to the main motor's own. And we confirmed repeatability by many times of tests. We will use this method positively for R&D and quality assurance activity of mass production .

초 록

메인모터 추진제의 연소속도를 예측하기 위하여 표준모터를 제작하고 지상연소시험을 수행하였다. 이를 위하여 중, 소형모터의 시험에 적합한 지상연소시험장을 구축하고 경량화된 6 inch 급의 표준모터를 개발하여 여러 차례의 시험에 적용하였고, 메인모터의 연소속도와 비교하였다. 그 결과 표준모터를 이용하는 방법이 기존의 연소속도 측정 방법에 비해 메인모터의 연소속도를 비교적 잘 반영하는 것으로 나타나, 앞으로의 추진제 개발 활동 및 양산품의 품질보증 활동에 적극 활용할 계획이다.

Key Words : Burning rate(연소속도), Propellant(추진제), Main Motor(본모터), Standard Motor(표준모터), Static Fired Testing Facility(지상연소시험설비)

1. 서 론

추진기관의 개발과정 또는, 양산화 된 추진기관의 품질보증활동에 있어서 연소속도는 가장 우선적으로 고려하여야 할 중요한 항목의 하나이다. 이러한 연소속도의 측정에는 일반적으로 strand burner를 이용하는데, 이는 직경 8mm 수

준의 원통형 시편을 제작하여 길이방향으로 연소시키면서 추진제가 연소한 거리와, 여기에 소요된 시간을 이용하여 연소속도를 구하는 방법이다. 한편 실제의 추진기관을 지상연소시험하여 압력-시간 선도를 얻은 뒤, 작도나 프로그래밍 등의 방법을 통해 연소속도를 계산하는 방법이 있다. 하지만 이 방법은 비용이 많이 들고,

(주) 한화

시험이 용이하지 못하다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 비용을 절감하면서 실제 추진기관의 연소 거동을 어느 정도 반영할 수 있는 6 inch급의 표준모타를 제작하고 시험하여 그 결과를 각각의 경우와 비교하였다.

2 본 론

2.1 추진제 연소특성 분석

연소시험에 사용된 추진제는 현재 유도무기 및 로켓에 널리 이용되는 혼합형 추진제 (Composite Propellant)이다. 혼합형 추진제는 기계적 성질을 유지하는 바인더, 분자 내에 다량의 산소를 함유하고 있어 추진제가 연소할 때 산소를 공급하고 에너지원으로 작용하는 산화제, 금속물질로 이루어져 연소가스 온도를 높임으로써 추진제 성능을 향상시키는 금속연료, 그리고 기타 첨가제로 구성되어 있다.

추진제 연소속도는 추진제의 연소면과 수직방향으로 단위시간동안 연소한 거리를 의미하며, inch/s 또는 mm/s로 나타낸다. 추진제 연소속도는 복합적인 요인에 의해 영향을 받으며, 조성의 측면에서 보면 산화제 함량, 산화제 입자크기, 연소속도 촉매의 종류 및 함량에 따라서 결정된다. 이 연소속도는 추진기관의 성능 예측 및 분석의 기초 자료로서 특히 연소특성(연소속도, 압력지수, 압력상수 등)은 내탄도 해석에 있어서 필수적인 자료이다.

대부분의 추진기관에서 추진제 연소속도는 직경 8mm 수준의 원통형 시편을 제작한 뒤 Strand Burner에서 연소시험하여 측정하며, 여기서 얻은 값을 추진기관 내탄도 해석의 기본 자료로 활용한다.

하지만 서론에서와 같이 6 inch 급의 표준모타를 지상연소시험하여 연소속도를 얻기 위해서는 표준모타의 제작과 이를 지상연소시험하는 계측설비 및 시험장의 구축이 필수적이다.

2.2 표준모타 개발

추진기관의 개발 시 필수적인 항목인 추진제의

성능 평가, 노즐 및 내열재 등의 구조물에 대한 시험을 수행하기 위하여 일반적으로 표준모타를 이용한다.

본 연구에서는 추진제 외경이 6 inch이고 web 길이가 1 inch인 표준모타를 제작하여 이를 지상연소시험함으로써 연소시간, 연소압력 등의 데이터를 얻고, 연소속도에 관한 기본 공식에 적용하여 추진제의 연소속도를 계산하였다.

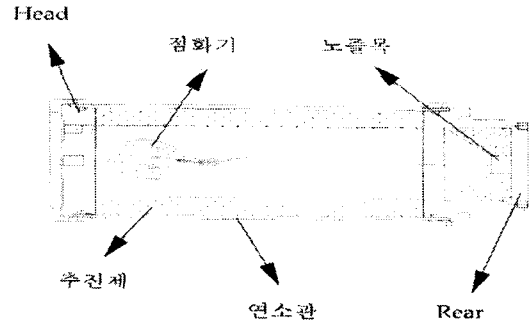


그림 1. 표준모타(6 inch) 형상

이에 당사에서는 기존의 Heavy Type 표준모타를 개선하기 위해 구조 해석을 통해 재설계하고, 수압시험을 통한 확인을 거쳐 1회용으로 제작하여 구조물을 경량화 시키고 여러 가지 사항들을 보완하여 지금의 형태를 갖추게 되었다. 제작된 표준모타 형상을 그림 1에 나타내었다.

2.3 지상연소시험 계측설비

기존의 시험장을 보완하여 계측 정밀도를 향상시키고, 중소형 추진기관의 지상연소시험에 적합하도록 개선하였으며, 가장 일반적인 항목인 압력, 추력 및 온도를 계측할 수 있는 시스템을 구축하였다. 표 1에 주요 설비 및 센서와 사양을 나타내었다. 표준모타의 연소압을 측정하기 위하여 0 ~ 3500psi의 측정 범위를 갖는 Pressure Transducer를 이용하였고, 추력의 측정에는 0 ~ 3000lbf의 범위를 갖는 Load Cell을 사용하였는데, 이들의 측정 한계치는 추진기관의 정상적인 연소 시에 발생하는 압력과 추력의 약 2 ~ 3배 수준으로, 일반적인 중소형 표준모타 연소시험에 범용으로 적용할 수 있는 수준이다.

표 1. 주요 설비 및 사양

센서, 계측 설비 및 Software	사 양
Pressure Transducer	0 ~ 3500 psi(Dynisco)
Load Cell	0 ~ 3000 lb _f (BLH) (Load Button 사용)
Thermocouple	0 ~ 1000℃(K type)
Signal Isolator	0 ~ 30 mV, Strain Gage Input Module
Interface Application Program	Labview 6i (National Instruments)

압력과 추력의 측정값은 Signal isolator를 거쳐 4 ~ 20 mA 범위의 값을 갖게 되고, 이는 250 Ω의 저항을 거쳐 1 ~ 5V로 변환된다. 마지막으로, 이 값들은 계측용 PC에 설치된 AD converter와 Interface Application Program인 Labview를 통해 우리가 얻고자 하는 압력과 추력 및 온도의 실제 값으로 나타나게 된다.

다음의 그림 2에 계측 설비 및 데이터 흐름에 대한 개략적인 내용을 도시하였다.

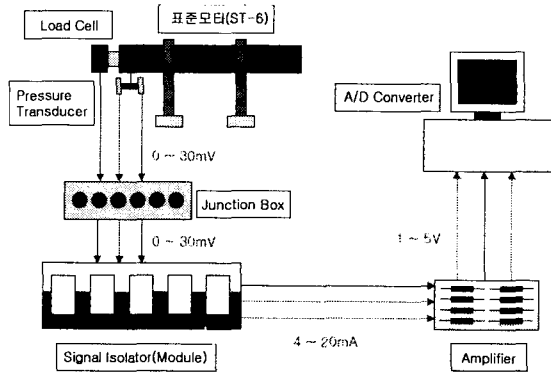


그림 2 지상연소시험 개략도

2.4 표준모타 연소특성 분석

1,200psig 수준의 압력을 갖는 표준모타의 지상 연소시험을 통해 약 1,800psig 정도인 메인모타

내부에서의 추진제 연소속도를 예측하게 되며, 이 값을 메인모타의 연소속도와 비교하였다. 다음의 식(1)을 이용하여 연소속도 R1값을 구한다.

$$R1=R2(P1/P2)^n \text{ ----- (1)}$$

여기서

R1 : 12.41Mpa(1800psi)에서의 연소속도, mm/s

R2 : Tangent Bisector Method에 의해 계산된 표준모타

의 연소속도, mm/s

P1 : 12.41Mpa(1800psi)

P2 : 평균 연소 압력, Mpa

n : 압력지수(0.41, constant)

동일 Batch의 추진제를 이용하여 2기의 표준모타를 제작하고, 15℃에서 6시간 이상의 환경처리를 거친 후 지상연소시험을 실시하여 시간에 따른 압력곡선을 획득하였고, 이를 그림 3에 나타내었다.

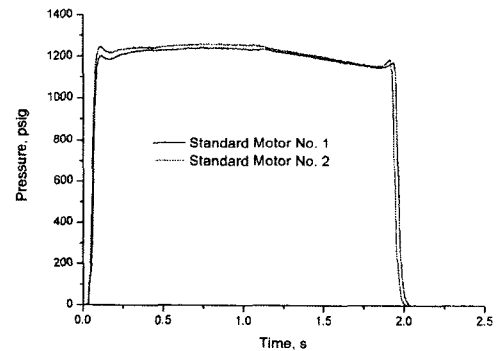


그림 3 표준모타 P-T 선도

획득한 데이터에 대한 분석을 실시한 결과, 서로간에 약 0.2 %수준의 차이를 보이고 있는데, 상기와 같이 동일 batch의 추진제를 사용하여 표준모타를 제작함으로써 모타 제작 및 시험 설비의 재연성을 확인하였다.

표 2. 연소속도 비교

구분	메인모타		표준모타		Strand Burner	
	Bat.1	Bat.2	Bat.1	Bat.2	Bat.1	Bat.2
연소속도 (mm/s, @1800psi)	15.90	16.35	15.25	15.78	15.31	15.33

메인모타, 표준모타, 그리고 strand burner를 통하여 획득한 연소속도를 비교하기 위해 여러 차례에 걸친 시험을 수행하였고, 그 비교 결과를 표 2에 나타내었다. 비교 결과, 표준모타를 이용한 방법이 strand burner를 이용한 방법에 비해 메인모타의 연소속도를 예측하는 데 비교적 유리한 것으로 나타났다.

3. 결 론

추진계의 연소속도를 저비용으로 메인모타와 보다 유사한 조건에서 측정하기 위하여 기존 시험장 설비와 소프트웨어를 보완하고 경량화된 표준모타를 개발하여 지상연소시험에 적용하였다. 여러 차례에 걸친 시험과 타 시험장과의 비교를 통하여 본 시험장이 안정적인 결과를 나타내고 있음과, 표준모타를 이용하여 메인모타의 연소속도를 예측하는 방법이 상당한 신뢰성이 있음을 확인하였으며, 앞으로도 지속적인 시험 및 평가 활동을 진행할 예정이다. 또한 표준모타 구조 등의 변경을 통해 연소속도 뿐만 아니라, 메인모타의 여러 가지 연소 거동 등을 모사할 수 있는 시험을 수행하고, 다른 추진기관에도 확대 적용해 나갈 계획이다.

참고문헌

1. Oberth, Adolf E., "Principles of Solid propellant Development", CPIA Publication No. 469, (1987)
2. Davens Alian., "Solid Rocket Propulsion Technology" edited by Davens Alian, Pergmon

Press, (1993)

3. Y.M. Timnat "Advanced Chemical Rocket Propulsion" Academic Press (1987)