

# Teflon 노즐을 이용한 복합추진제 모터의 추력 향상

홍기철\* · 이훈희\* · 서 참\* · 구용재\* · 심주현\* · 김상우\* · 임승빈\* · 방재원\*

## Enhancement of Performance for Solid Composite Propellant Motor using Teflon Nozzle

Gicheol Hong\* · Charm Seo\* · Yongje Goo\* · Juhyun Sim\*  
Sangwoo Kim\* · Sungbin Lim\* · Jaewon Bang\* · Hoonhee Lee\*

### ABSTRACT

The INHA Rocket Research Institute changed the Ceramic nozzle material of their developed Solid Composite Propellant Motor with Teflon nozzle material. Static firings of the new Solid Rocket Motors was conducted on Thurst Tester to validate the increase in performance. The new enhanced Solid Rokat Motor increased the total impulse by 18.3 percent while improving its reliability. The new process of manufacture reduced the time to produce a nozzle.

### 초 록

인하 로켓 연구회에서는 기존의 복합추진제 모터의 노즐 재료를 기존의 세라믹에서 Teflon으로 대체하여 추력 성능을 개선하였다. Teflon으로 제작된 노즐은 지상시험과 추력 측정을 통해 결과를 확인하였다. Teflon을 이용한 노즐은 기존의 세라믹 노즐과 비교해서 신뢰성을 높이면서 총충격량을 18.3%만큼 증가 시킬 수 있었다. 새로운 제작 공정은 노즐 생산 시간도 줄였다.

Key Words: Teflon (테프론) , Nozzle (노즐) , Thrust Measurement Equipment (추력 측정 장비)  
Man Hour (인시수), Solid Composite Propellant Motor (고체 복합 추진제 모터)

### 1. 서 론

인하 로켓 연구회에서는 지난 86년부터 연구회 내 자체적으로 개발한 Aluminum(Al) 복합 추진제를 사용해 고체 로켓 모터를 제작해 왔다.

자체적으로 제작하기 때문에 이 모터의 구성물은 대부분 시중에서 쉽게 구할 수 있는 재료이나 노즐의 재료에 있어서는 제작에 어려움이 많았다.

고체 로켓 모터의 경우 모터의 동작 시에 고온, 고압의 연소가스가 노즐을 통해 흘러나가면서 노즐이 삭마되기 때문에 대부분의 재료들은 연소 후 노즐로서의 모양을 유지 하지 못한다.

이에 따라 본 연구회에서는 시중에서 구할 수

\* 인하대학교 로켓 연구회  
(INHA Rocket Research Institute)

연락처, E-mail: hkibang@hanmail.net

있는 석고, 시멘트 등의 재료와 더불어 열경화성 수지인 에폭시와 흑연을 이용하여 노즐의 제작을 시도하였으나 이 경우에도 연소 시험 후의 노즐은 대부분 그 원형을 유지 하지 못함을 확인하였다. 이를 해결하기 위한 방법으로 고가의 흑연봉등의 재료를 사용할 수 있으나 이러한 재료의 구입과 제작은 쉽지 않았다.

이 때문에 기존에 개발된 모터의 노즐은 내화점도와 흑연을 혼합하여 성형한 후 고온으로 가열하여 제작 되었다. 이러한 제작방법은 직접 사람의 손으로 만들어 지기 때문에 제작되는 노즐의 크기와 모양이 각각 조금씩 다르다.

또한 재료 자체의 혼합의 균일성이 다르게 되어 모터 연소 시에 특성과 모습도 크게 다르게 나타났다. 하지만 당시의 현실적 한계 때문에 이러한 제작 방법이 계속 사용되어 왔다. 제작 여건에 따라서 변화하는 노즐의 상태에 의해서 개발된 모터의 추력은 일정한 신뢰성을 보여주지 못하였고 또한 연소 후의 노즐 상태가 불량하여 개선이 필요했다. 이에 고분자 수지인 Teflon을 재료로 사용한 노즐을 제작하여 성능비교를 통해 이전 모터와의 성능 면에서 Teflon의 효용성을 입증하였다.

## 2. 기존 고체 추진제 모터의 성능

현재 본 연구회에서 사용하고 있는 모터의 제원은 Table 1과 같으며 Fig. 1은 연소시간에 따른 추력 곡선이다. Fig. 1에서와 같은 성능은 실제 완벽한 이론적 해석을 통해서 설계된 모터의 것은 아니다. 비추력을 통해 알 수 있듯이 이론적인 추진제의 비추력은 200 sec 이상이지만 이상적인 노즐설계가 되어 있지 않아서 실제 성능은 상당히 저하되어 있다. 실질적인 해석과 재설계를 위해서는 모터 자체의 연소실 압력과 Strand Burner를 통한 연소율을 측정해야 하지만 이는 쉽지 않은 일이다. Fig. 2는 현재 사용 중인 모터의 문제점을 나타내고 있다. 두 동일한 모터는 추력 곡선의 모습이 전혀 다르다는 것을 보여주고 있다. 성능 개선과 모터 동작시의 성능의

일관성을 위해서 먼저 노즐의 재료를 개선하는 것이 효율적이라고 판단했다.

Table 1. Specification of IRRI SRM

Fuel	Aluminum (Powder)
Oxidizer	Sodium Chlorate
Binder	Epoxy resin
Case Material	Stainless Steel
Nozzle Material	Graphite and fireclay
Insulator	-
liner	-
Gross Weight	250 g
Propellant Weight	82 g
Specific Impulse	91 sec
Total Impulse	73 N · sec
Maximum Thrust	190 N
Burning Time	0.9 sec

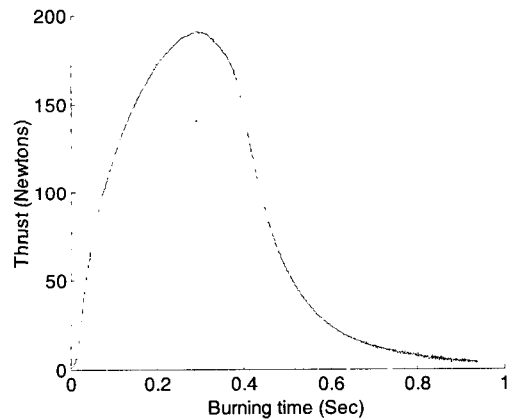


Fig. 1 Time - Thrust Curve

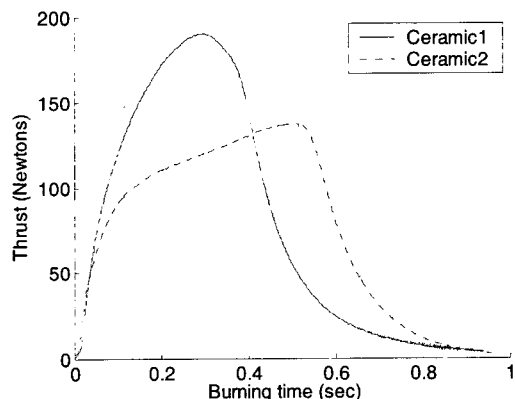


Fig. 2 Time - Thrust curve between Same Motors

### 3. Teflon 재료의 선정 배경

Figure 2에서의 결과와 같이 본 연구회의 세라믹 노즐은 개선이 필요하였다. 모터의 연소 특성은 로켓의 비행에도 영향을 미치므로 원하는 추력곡선을 가지는 것이 중요하다.

재료 선정을 위하여 먼저 외국에서 제작되는 일반인들을 위한 로켓 모터 제작회사의 제품들에 대한 조사를 하였다. 조사 중 미국의 모터 제작회사인 AeroTech 사의 상용모터가 복합추진제 모터이며 이 모터의 노즐 재료가 Teflon 이라는 자료를 찾았다[1].

Teflon은 미국 듀폰사에서 개발되었으며 PTFE (Poly Tetra Fluoro Ethylene)수지의 상품명이다. Teflon의 특징은 260℃에서 장기사용에 대한 내열성을 가지고 있으며 낮은 마찰계수와 난연성을 가지고 있다. 특히 PTFE 수지의 경우에는 비점착성과 내열성을 가지고 있어서 개스킷, 실(seal), 패키징으로 사용되어 지고 있다.

Teflon은 화학공정의 반응로 내부 단열재로 코팅되는 재료로도 이용되고 있으며 열전달 계수가 비교적 작다. 본 연구회의 복합추진제 모터의 연소 시간이 1초 미만임을 감안하여 Teflon의 경우 열전달 계수가 작아 물성치의 변화가 적을 것으로 보았다.

Table 2는 노즐에 쓰이는 재료들과 Teflon의 열전달계수를 나타내고 있다[2-3].

비점착성과 낮은 마찰계수, 그리고 작은 열전달 계수를 통해 Teflon이 세라믹 노즐에 비해 마찰과 열전달에 의한 손실을 감소시킬 수 있을 것이라고 판단하여 Teflon을 재료로 선정하였다.

### 4. 지상 연소 시험과 추력 측정 결과

Teflon으로 제작한 노즐은 기존의 모터에 비해 어떤 특징을 갖는지 알기 위해 지상 연소 시험을 통해서 추력을 측정하였다. 측정 장비는 압축력을 측정하는 Load Cell을 사용하였고 신호를 12bit 분해능을 가지고 A/D 변환을 하는 DAQ 장비로 계측 하였다.

Table 2. Heat Conductivity of Materials

	k (W/m · K)*	Erosion Rate (mm/sec)
ATJ Modern Graphite	89	0.1
Pyrolytic Graphite	3.66	0.03
Carbon Cloth Phenolic	164	0.17
Silica Cloth Phenolic	82.99	0.381
Teflon	0.35	- **

\* Property at 300K , \*\* Unknown

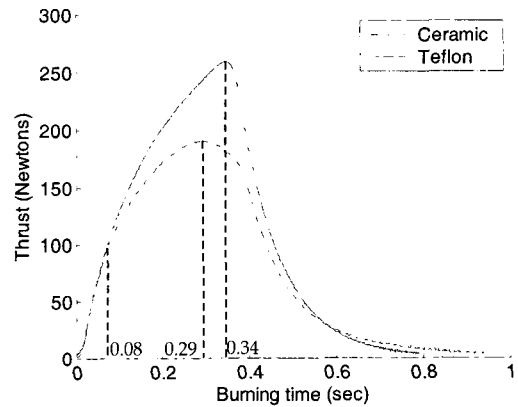


Fig. 3 Comparison of Thrust between Teflon and Ceramic Nozzle

Figure 3에서 추력 측정 장비를 통해 측정된 연소시간에 따른 추력곡선과 기존의 모터의 추력곡선을 비교하였다.

위에서 볼 수 있듯이 기존의 노즐에 비해 Teflon을 사용한 노즐이 더 큰 최대 추력과 Total Impulse를 보여주고 있다. 초기 추력시의 추력의 상승 곡선은 같은 모습을 보여 주고 있지만 약 0.08 sec부터 기존의 노즐은 추력 곡선이 Teflon보다 둔해짐을 보이고 있다.

또한 최대추력이 나타나는 시점도 기존의 노즐보다 느려졌다. 두 노즐의 추력 곡선의 교차점인 0.6 sec 지점부터는 기존의 노즐의 추력이 더 높아지는데 실제 기존 세라믹 노즐 목과 노즐면의 침식으로 노즐의 형상 변화로 인한 연소실 압력의 저하가 이루어지면서 추력에 영향을 미

치는 것으로 볼 수 있다.

그러나 Teflon을 사용한 경우 0.6 sec 이전에는 일정한 연소실 압력을 유지하므로 대부분의 추진제가 연소되어 연소 시간 자체는 기존의 모터에 비해 약 0.1 sec 줄어들었음을 볼 수 있다.

추력 곡선 자체를 보면 일반적인 고체 모터의 추력 곡선들과는 다르게 상당히 짧은 시간 안에 많은 추력을 내며 이는 추진제의 두께비가 작고 길이 대 직경 비가 약 7 정도가 되므로 짧은 시간에 많은 양의 추진제가 연소되기 때문이라고 보고 있다. 또한 기본적인 추력 곡선은 Fig. 3과 같이 잠증형(Progressive)으로 보이나 추진제 두께비가 작아 최대 추력시점 전에서 추진제의 대부분이 연소 되어 완벽한 잠증형으로 보긴 힘들다[4].

Table 3의 결과에서 Teflon 노즐이 Ceramic 노즐에 비해 Specific Impulse는 18.7%, Total Impulse는 18.3%, Maximum Thrust는 36.8%가 각각 증가 하였으며 연소시간은 0.1 sec 가 줄고 노즐 목의 침식 속도는 17%가 줄어들어 최대 추력이 상당히 증가 하였다.

침식 속도에 대한 결과는 노즐 목에서의 침식 정도를 기준으로 계산한 결과이며 실제 수축 및 확산부에서의 침식은 Fig. 5에서 나타나듯 기존 노즐의 모습인 Fig. 4에 비해 적게 나타난다.

### 5. 제작 순서와 제작 시간 절감

기존의 노즐은 인력으로 제작 할 수밖에 없다. 인력으로 만들어 지기 때문에 재료의 성질에 따라서 제작하게 되는 공정도 변화하게 된다.

Figure 6은 기존의 세라믹 노즐과 Teflon노즐의 제작 공정도이다[5].

두 노즐의 공정상의 차이에 의한 제작시간의 비교를 위해서 인시수(Man Hour)를 비교해 보았다.

Table 3. Comparison of Performance Result

	Ceramic Nozzle	Teflon Nozzle
Specific Impulse (sec)	91	108
Total Impulse (N · sec)	73.8	87.3
Maximum Thrust (N)	190	260
Burning Time (sec)	0.85	0.75
Erosion rate (mm/sec)*	0.88	0.73

\* Nozzle Throat ( Result of IRRI SRM )



Fig. 4 Convergent Nozzle Section of Ceramic Nozzle After Combustion



Fig. 5 Convergent Nozzle Section of Teflon Nozzle After Combustion

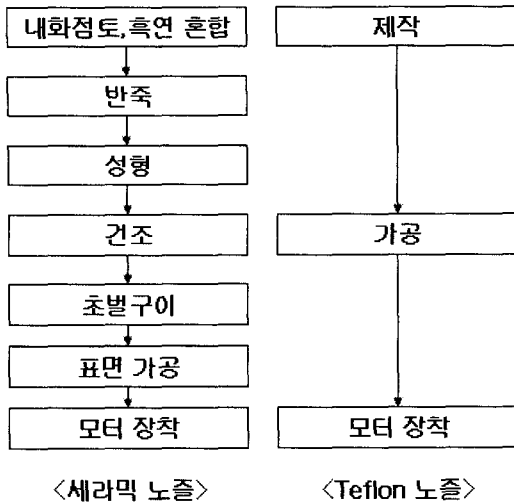


Fig. 6 Flowchart of Manufacturing

Table 4. Comparison of Man Hour ( M/H )

	Ceramic Nozzle	Teflon Nozzle
내화점도, 흑연 혼합	1 hr	4 hr Manufactured by lathe
반죽	1 hr	
성형	4 hr	
건조	over 24 hr	
초벌구이	over 1 hr	
표면가공	1 hr	1 hr
모터 장착	2 hr	1 hr
총 시간*	over 34 hr	6 hr

\* Standard for 10EA Nozzle

Table 4는 Teflon 노즐의 제작 시간이 Ceramic 노즐의 제작 시간에 비해 1/5정도로 줄어들었음을 보여준다. 이러한 시간 단축은 모터의 제작시간을 전체적으로 줄일 수 있기 때문에 효율적이고 신뢰성 있는 모터를 만들 수 있는 기초가 된다.

## 6. 결 론

결과적으로 Teflon의 노즐 재료로서의 사용은 대형 SRM에서 사용되는 흑연 재료들과 비교한

성능에서 떨어지지만 제작시간의 단축과 구매의 용이성 면에서 짧은 연소시간을 가지고 작은 추력을 필요로 하는 고체 로켓 모터나 시험용 소형 모터에 적용하기 쉽다.

또한 연소 시 고온에 노출되는 노즐 수축부에서는 단열성이 우수해 그 형태를 비교적 잘 유지하고 있었다. 이번 시험을 통해서 본 연구회의 기존 노즐의 문제점을 일부분 해결하였고 모터 자체의 성능도 기존의 노즐보다 향상시켰다.

## 7. 향후 계획

노즐 재료의 변화를 통해서 추력을 향상 시켰지만 실제 본 연구회의 모터에 대한 기본적인 자료가 부족하여 해석이 어려웠다. 고체 추진제 모터의 기본적인 자료인 연소율(Burning Rate)과 모터 자체의 연소실 압력(Chamber Pressure), 그리고 연소 가스의 연소온도 등을 계측하고 이론적인 해석을 통해서 노즐의 재설계가 필요하다.

향후 Strand Burner 등의 장비를 다시 제작하여 사용 중인 추진제의 연소특성과 연소율을 측정하고 연소실 압력과 온도를 측정할 수 있는 소형 시험 장비도 제작할 예정이다. 또한 본 연구회에서는 로켓의 가속도 운동과 대기 상태를 측정하는 Sounding Rocket을 제작하여 비행시험을 할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. www.aerotech-rocketry.com
2. Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Introduction to Heat Transfer 4th ed., John Wiley & Sons Inc., 2002
3. Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2001
4. 홍용식, 우주추진공학, 청문각, 2004
5. 이강이 외, IS-X실험보고서, 인하대학교 로켓트 연구회, 1987