

# 장기저장 고체 추진기관의 ATJ Graphite 노즐목 삭마특성 분석

조현철\*, 최재성, 이정호  
국방기술품질원

## A Study on the ablation characteristics of ATJ Graphite Nozzle Throat of Long-Term Storage Solid-Rocket Motors

Hyun-Chul Jo\*, Jae-Sung Choi, Jeong-Ho Lee  
Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 고체 추진기관의 노즐은 추력을 발생시키는 주요 부품 중 하나로써 추진제 연소과정에서 생성된 연소 가스가 노즐 수축부에서 확대부를 지날 때, 급격하게 팽창시켜 추력을 발생시키는 역할을 한다. 이때, 고온, 고압의 연소 가스에 의해 노즐목에서는 기계적·화학적 삭마가 발생하게 되는데, 삭마에 따른 노즐목 면적 변화는 내탄도 성능에 영향을 미칠 수 있기 때문에 시험을 통한 성능평가는 필수적이다. 본 연구에서는 장기저장이 노즐목 삭마에 미치는 영향을 확인하기 위해 저장탄약 신뢰성 평가(ASRP) 절차에 따라 00년간 저장 중인 동일한 로트의 시료 6조를 선별하여 각 조건별 ATJ Graphite 노즐목 삭마특성을 분석하였다. 장기저장 전·후의 삭마율을 비교한 결과 저장기간 증가로 인해 추진제의 노화도가 증가함에 따라 장기저장 시료에서 노즐목 삭마율이 노화 전 대비 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 향후 장기저장 고체 추진기관의 수명평가를 위한 내탄도 성능 분석 시 노즐목 삭마율 변화 비교를 성능 변화요인 추정방법 중 하나로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**Abstract** A nozzle in a solid rocket motor plays the role of generating thrust by allowing the gas generated in the combustion process to expand in the nozzle enlargement part. Hence, mechanical and chemical ablation occurs in the nozzle throat due to the high-temperature and high-pressure gas. Since this ablation can affect the internal ballistic performance, it is essential to conduct a test to study this phenomenon. Hence, this study selected six sets of samples from the same lot stored for 00 years according to the Ammunition Stockpile Reliability Program (ASRP) to check the effect of long-term storage on nozzle throat ablation. Subsequently, the ATJ Graphite nozzle throat ablation characteristics were analyzed for each test condition. The result of comparing the ablation rates before and after long-term storage confirmed that the nozzle throat ablation rate in the long-term storage samples was lower than the ablation rate before aging. This reduction in ablation rate occurred because of increased aging of the propellant due to the increase in the storage period. Hence, the comparison of nozzle throat ablation rate change can be used as one of the estimation methods for performance change factors. The above situation is true particularly in the internal ballistic performance analysis for the life evaluation of long-term storage solid rocket motors in the future.

**Keywords** : Ablation, Nozzle Throat, ATJ Graphite, Long-Term Storage, Ammunition Stockpile Reliability Program

\*Corresponding Author : Hyun-Chul Jo(Defense Agency for Technology and Quality)  
email: hcjo@dtaq.re.kr

Received October 14, 2021  
Accepted February 4, 2022

Revised November 15, 2021  
Published February 28, 2022

## 1. 서론

고체 추진기관에서 노즐은 형상 및 소재에 따라 내부 압력 및 추력 등의 내탄도 성능에 영향을 미치는 주요 부품 중 하나이다. 특히 노즐은 고온, 고압가스에 항상 노출되어 있으므로 노즐목에 사용되는 재료는 고온, 고압의 조건에서 기능 및 형상이 유지되어야 한다. 이에 따라 현재 고체 추진기관 노즐목 재료 선정 시 가장 쉽게 접근하고 있는 소재는 ATJ Graphite이다. ATJ Graphite는 높은 열 충격 저항성, 부식 저항성, 열전도도와 낮은 탄성계수, 열팽창계수 특성을 가지고 있다. 또한, 가공성이 좋고 가격이 저렴하여 노즐목 소재에 널리 사용되고 있다.

연소과정에서 생성된 고온, 고압의 연소가스는 노즐의 수축부를 지나며 노즐목에 삭마를 일으키게 되는데, 노즐표면에서의 삭마는 고온의 연소생성물에 의해 기계적 침식(mechanical erosion), 화학적 침식(chemical erosion), 용융(melting), 탄화(charring), 증발(evaporation) 등 여러 가지 요인에 의해 발생하며 이러한 현상을 통칭하여 삭마라 부른다. 기계적 삭마의 경우 추진제의 구성과 연관되며 추진제 내부의 금속 물질이 연소가 되며 액체상태의 고온의 금속산화물이 된다. 이 고온, 고속의 금속산화물들은 연소실을 지나 노즐의 수축부를 지나면서 충돌 각도와 노즐목 근처에서의 유동 급가속에 의한 운동량 변화가 발생하게 되고, 노즐벽과 충돌하게 됨으로 수축부의 열적·기계적 삭마를 불러일으킨다. 화학적 삭마는 추진기관 연소 시 발생하게 되는  $H_2O$ ,  $CO_2$  등의 산화성 연소 생성물로 인해 발생한다. 특히 ATJ Graphite는 대기 중에서 매우 안정적인 물질로서 쉽게 산화가 되지 않지만 500 °C 이상의 고온·고압의 조건에서 ATJ Graphite의 주성분인 탄소와 산화성 연소 생성물들이 결합하여  $CO$ ,  $H_2O$  등으로 결합하는 화학적 삭마가 발생한다[1].

ATJ Graphite의 삭마 특성 분석에 대한 연구는 표면의 산화 현상을 방지하기 위한 내산화 코팅, 추진기관 운용 조건에 따른 삭마특성 분석 위주로 수행되고 있다. 위 결과에 따르면 동일한 추진기관에서도 조건에 따라 노즐목 삭마량 변화로 인한 내부압력의 차이가 발생하게 되며, 이는 내탄도 성능에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 장기저장으로 인한 추진제의 노화 또한 노즐목 삭마량 변화에 영향을 미칠 수 있으나 실제 유도탄 추진부의 운용 환경(발사 전 장기 저장)을 고려한 삭마 특성에 대한 연구는 활발히 이뤄지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 장기저장이 고체 추진기관 노즐목 삭마에 미치는 영향을 확인하기 위하여 장기저장 상태로 운용 중인 고체 추진기관을 선별하여 정해진 조건에 따라 연소시험 후 측정된 평균추력 및 연소시간과 삭마율 변화를 비교하여 장기저장에 따른 고체 추진기관 노즐목의 삭마 변화량에 대해 연구하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시험시료 및 절차

로트별 내부 추진제 조성 차이로 발생할 수 있는 영향을 줄이기 위해 00년간 장기 저장되어 운용중인 시료들 중 동일한 로트의 추진기관 6조를 선별하여 노즐목 삭마량 측정 후 각 조건별 삭마율 변화량에 대해 분석하였다.

### 2.2 지상연소시험 조건

Fig. 1의 저장탄약 신뢰성 평가(ASRP) 절차에 따라 비파괴 검사 후 환경시험을 수행하였다. 환경시험은 온도반복시험, 가속노화시험으로 구성된다.

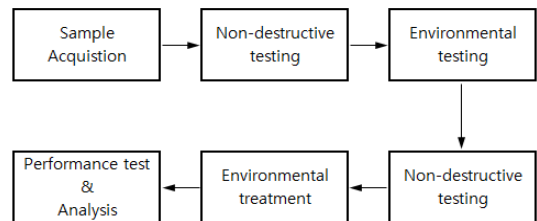


Fig. 1. ASRP procedure

Fig. 2의 온도반복시험은 운용온도 변화에 대한 추진기관의 성능평가를 위하여 온도 공차  $\pm 3^{\circ}C$  조건으로 고온(+60°C)과 저온(-40°C)에서 24시간 이상 유지하는 과정을 최소 3회 반복하여 온도충격을 가하는 시험이다. 가속노화시험은 향후 저장기간 증가에 따른 추진기관의 성능예측을 위해 고온(+60 °C)을 유지하며 3개월 동안 저장하여 추진제의 노화를 가속화시키기 위한 시험이다.

환경시험 후 비파괴검사를 추가 실시하고 각 온도별 운용성능평가를 위하여 저온(-40°C), 상온(+20°C), 고온(+60°C)에서 24시간 보관하는 환경처리 과정을 거쳐 지상연소시험을 수행하였다.

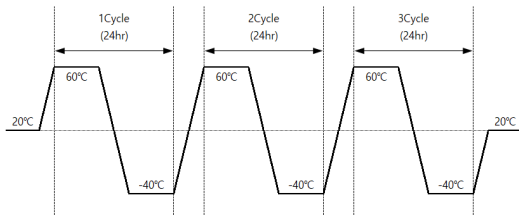


Fig. 2. Temperature cycling test process

### 2.3 노즐목 직경 측정

지상연소시험 시 추력, 연소시간을 계측하였으며, 연소시험 후 노즐을 절단하여 Fig. 3(a)에 나타난 3차원 측정기로 노즐목 직경을 측정하였다.

본 연구에 사용된 3차원 측정기는 카메라 센서를 이용한 비접촉식 이미지 프로세싱 방식으로 전용 소프트웨어를 통해 측정 분해능 0.1 $\mu$ m, 최대 허용 오차 2.5 $\mu$ m까지 측정 가능한 성능을 갖고 있다. 측정방법은 Fig. 3(b)와 같이 전용 소프트웨어를 통해 경로를 지정하면 카메라 센서를 기준으로 시험대 배드가 정해진 측정 경로를 따라 원의 형태로 이동하며 직교좌표를 계산해 노즐목의 직경을 산출하는 방식이다. 측정경로 개수에 따라 매 측정 시 측정값의 0.1% 정도의 오차가 발생하였고 이를 최소화하기 위해 400개 이상의 측정 경로 포인트를 지정해 3회 이상 측정한 평균값을 노즐목 직경으로 산출하였다.

$$Ablation = \frac{r_{final} - r_{initial}}{2} \quad (1)$$

$$Ablation Rate = \frac{Ablation}{t_{burning}} \quad (2)$$

where,  $r_{final}$  denotes Nozzle throat diameter before Ground-Firing Test,  $r_{initial}$  denotes Nozzle throat diameter after Ground-Firing Test,  $t_{burning}$  denotes Combustion time

노즐목 삭마량은 Eq. (1)을 적용하여 연소시험 전·후의 노즐목 직경값을 대입하여 구하였다. 삭마율은 추진기관이 완전 연소되는데 걸리는 단위시간 당 노즐목의 삭마량을 뜻하며 Eq. (1)에서 산출된 삭마량과 연소시간을 Eq. (2)에 대입하여 계산하였다.

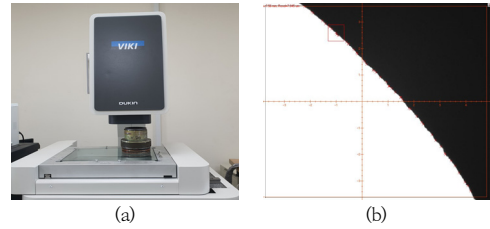


Fig. 3. (a)3D Measuring Equipment  
(b)Measurement image

### 2.4 노즐목 삭마 측정 결과

지상연소시험 후 각 시험조건에 따른 측정결과는 Table 1, 2에 정리하였으며, 평균추력은 상온 설계값을 기준으로 증감비율로 표현하였다. 평균추력 및 연소시간은 환경처리 조건별로 다른 결과가 나타났으며 그에 따른 삭마량과 삭마율도 변화하였다.

Table 1의 온도반복시험 시료의 삭마량은 고온조건에서 0.281mm로 가장 컸으며, 저온조건에서 0.178mm로 가장 작았다. Table 2의 가속노화시험 시료도 고온조건에서 0.275mm로 삭마량이 가장 컸으며, 저온조건에서 0.161mm로 가장 작았다. 시험결과를 통해 온도반복과 가속노화시험을 수행한 시료 모두 저온, 상온, 고온 순으로 환경처리 조건에 따라 삭마량이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

Table 1. Ground-Firing test result of Temperature Cycling samples

Temperature	-40℃	20℃	60℃
Average thrust* (%)	83.3	94.2	108.5
Combustion time (sec)	2.361	2.082	1.837
Ablation Thickness (mm)	0.178	0.238	0.281
Ablation rate (mm/s)	0.075	0.114	0.15

\*Expressed as a ratio based on the design value at 20℃

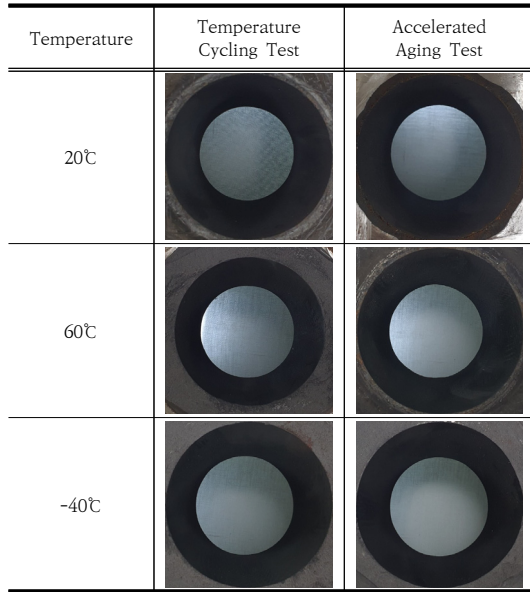
Table 2. Ground-Firing test result of Accelerated Aging samples

Temperature	-40℃	20℃	60℃
Average thrust* (%)	84.5	95.3	109.6
Combustion time (sec)	2.342	2.069	1.821
Ablation Thickness (mm)	0.161	0.204	0.275
Ablation rate (mm/s)	0.069	0.099	0.151

\*Expressed as a ratio based on the design value at 20℃

Table 3에는 각 조건별 지상연소시험 후 노즐목 상태를 나타내었다. 온도반복과 가속노화시험 시료 모두 시험 간 노즐목의 크랙(Crack)이나 깨짐(Fracture) 등의 특이사항은 확인할 수 없었으며, 한쪽으로 과도하게 치우치지 않고 고르게 삭마가 일어났음을 확인할 수 있었다.

Table 3. Nozzle Throat condition after Ground-Firing Test



## 2.5 노즐목 삭마 변화량 분석

### 2.5.1 환경처리 조건별 삭마량 분석

환경처리 조건별 운용성평가를 위해 저온/상온/고온에서 24시간 환경처리 한 시료들의 삭마량 변화를 분석하였다. 상온에서 환경처리 한 시료의 시험결과를 기준으로 각 결과값의 증감비율을 Table 4, 5에 정리하였다.

Table 4에서 온도반복시험 시료의 환경처리 조건별 삭마량 및 삭마율 변화를 비교한 결과 상온조건 기준으로 고온조건에서 평균추력이 약 15% 증가하고 연소시간은 약 12% 감소할 때, 노즐목의 삭마량과 삭마율은 각각 34.5%, 52.8%까지 증가하였다. 저온조건에서는 평균추력이 약 12% 감소하고 연소시간이 약 13% 증가할 때, 삭마량과 삭마율은 각각 21.2%, 30.4% 감소하였다.

상온처리 시험결과를 기준으로 고온과 저온조건에서 12~15% 사이의 평균추력과 연소시간의 변화를 보였지만, 삭마량과 삭마율은 저온조건에서 고온조건에 변화량인 52%에 비해 약 20% 감소하였다.

Table 5에서 가속노화시험 시료의 환경처리 조건별 삭마량 및 삭마율 변화를 비교 분석한 결과 상온조건 기준으로 고온조건에서 평균추력이 약 15% 증가하고 연소시간은 약 12% 감소할 때, 노즐목의 삭마량과 삭마율은 각각 18%, 34% 증가하였다. 저온조건에서는 평균추력이 약 12% 감소하고 연소시간이 약 13% 증가할 때, 삭마량과 삭마율은 각각 약 25%, 35% 감소하였다.

Table 4. Test results according to environmental treatment conditions of temperature cycling samples

Temperature	-40℃	20℃	60℃
Average thrust (%)	88.7	100	115
Combustion time (%)	113.2	100	88
Ablation Thickness (%)	78.8	100	134.5
Ablation rate (%)	69.6	100	152.8

Table 5. Test results according to environmental treatment conditions of Accelerated Aging samples

Temperature	-40℃	20℃	60℃
Average thrust (%)	88.4	100	115.2
Combustion time (%)	113.4	100	88.2
Ablation Thickness (%)	74.7	100	117.9
Ablation rate (%)	65.9	100	133.6

Fig. 4와 같이 환경처리 조건에 따른 시험 결과를 도식화하여 비교 분석을 수행하였다. 온도반복시료에 비해 가속노화시료에서 상온기준으로 고온과 저온에서 더 낮은 삭마율을 보였다.

화학적 반응은 ATJ Graphite의 삭마를 발생시키는 주요 요인들 중 하나이다. 화학적 반응은 연소 시 온도가 고온일수록 더 활발히 발생하게 된다. 추진기관 연소에 의해 발생하는 연소가스의 온도가 높아지면 화학적 반응이 촉진되고 그에 따라 삭마량이 증가되며 반대로 온도가 낮아진다면 온도가 높을 때 보다 화학적 반응이 줄어들고 삭마가 덜 일어나게 된다. 따라서 Fig. 4에서 가속노화시료가 온도반복시료에 비하여 더 작은 삭마가 발생

한원인은 내부 추진제 노화에 따른 열적 에너지의 감소 영향으로 판단된다.

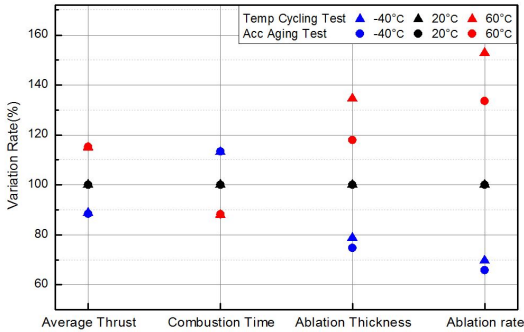


Fig. 4. Comparison of results according to environmental treatment conditions.

2.5.2 환경시험 조건별 삭마량 분석

환경시험조건이 삭마에 미치는 영향성을 분석하기 위해 온도반복시험 결과를 기준으로 저온/상온/고온에서 가속노화시험 결과값의 증감비율을 Table 6~8에 정리하였고 이를 도식화 하여 Fig. 5와 같이 비교하였다.

먼저 환경시험 조건에 따른 추력과 연소시간의 변화량을 비교 분석하였다. 온도반복시험을 기준으로 저온/상온/고온 모든 환경처리 조건에서 가속노화시험의 평균추력이 약 1% 감소하였으며, 연소시간은 약 1% 증가하였다. 추력과 연소시간의 변화량은 약 1% 내외로 환경시험 조건에 따른 차이는 미미하였다. 노즐목의 삭마율은 고온 조건에서 약 1%로 큰 차이를 보이지 않았으나 저온조건에서는 10%, 상온조건에서는 16% 증가하였다.

이론상으로 환경시험 조건에 따른 노즐목 삭마율의 변화는 미미하며 추력과 내부압력의 영향을 많이 받게 된다. 또한, 앞선 결과들에서 추력이 감소하면 삭마량과 삭마율도 감소하는 결과가 나타났다. 하지만 저온과 상온 조건에서 추력이 감소하였음에도 노즐목 삭마율이 10% 이상 크게 증가하는 결과가 나타난 것은 노즐목 삭마에 영향을 주는 추가적인 요인으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 추력과 연소시간 이외의 노즐목 삭마에 영향을 미칠 수 있는 요인은 내부 형상에 따른 경계층 발달 길이, 노즐목 반경에 대한 노즐목 곡률반경의 가공상 오차, 급가속 유동에 의한 층류화가 있으며, 이러한 요인들이 영향을 미쳐 환경시험 조건간의 차이를 발생시킨 것으로 추정된다.

Table 6. Comparison according to environmental test conditions at -40°C

Environmental Test	Temperature Cycling Test	Accelerated Aging Test
Average thrust (%)	100	98.6
Combustion time (%)	100	100.8
Ablation Thickness (%)	100	110.6
Ablation rate (%)	100	109.7

Table 7. Comparison according to environmental test conditions at 20°C

Environmental Test	Temperature Cycling Test	Accelerated Aging Test
Average thrust (%)	100	98.9
Combustion time (%)	100	100.6
Ablation Thickness (%)	100	116.6
Ablation rate (%)	100	115.9

Table 8. Comparison according to environmental test conditions at 60°C

Environmental Test	Temperature Cycling Test	Accelerated Aging Test
Average thrust (%)	100	99
Combustion time (%)	100	100.9
Ablation Thickness (%)	100	102.2
Ablation rate (%)	100	101.3

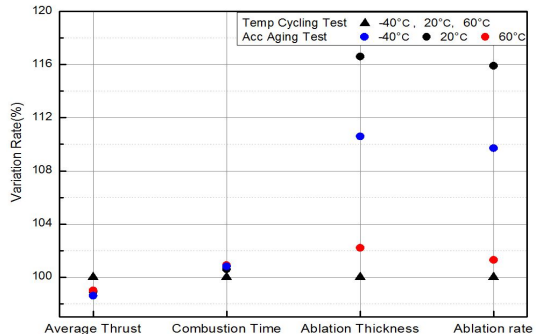


Fig. 5. Comparison of results according to Environmental Test condition

### 2.5.3 저장 전 시험결과와 삭마량 비교 분석

장기저장이 노즐목 삭마에 미치는 영향을 분석하기 위해 가속노화 상온조건의 시료를 저장 전 시험결과와 비교하였으며, Table 9에 비교한 결과를 정리하였다.

저장 전 대비 장기저장 시료의 평균추력은 4.7% 감소하였으며, 연소시간은 1.9% 증가하였다. 그에 따른 삭마량과 삭마율은 53.5%, 54.3% 감소율을 나타내었다.

Table 9. Comparison of results between Pre-storage and Accelerated Aging samples at 20°C

Category	Pre-Storage samples[5] (A)	Accelerated Aging samples (B)	A-B
Average thrust (%)	100	95.3	4.7
Combustion time (%)	100	101.9	1.9
Ablation Thickness (%)	100	46.5	53.5
Ablation rate (%)	100	45.7	54.3

저장 전과 장기저장 시료는 각각 노즐 끝단부 형상이 다른 노즐이 사용되었다. 저장 전 시료는 노즐 끝단부가 매끄러운 평노즐이 적용되었으며, 장기저장 시료는 비행 성능 및 정확도를 향상시키기 위해 노즐 끝단부에 특수하게 설계된 홈(Flute)을 가공한 비행용 노즐이 적용되었다. 이 홈(Flute)들로 인해 비행용 노즐이 적용된 시료의 경우 회전을 발생시키기 위한 롤링 모멘트로 힘이 전가된다. 따라서 비행용 노즐은 평노즐에 비하여 추력이 감소하게 된다.

$$F = C_F A_t P_c \quad (3)$$

where,  $C_F$  denotes thrust coefficient,  $P_c$  denotes chamber pressure,  $A_t$  denotes Nozzle throat diameter

Eq. (3)에 따르면 추력과 내부압력은 비례관계에 있으며, 노즐표면으로의 산화성분의 질량 전달률 역시 압력에 비례한다. 장기저장 시료는 비행용 노즐 사용으로 인해 평노즐이 사용된 저장 전 시료 결과 대비 추력과 내부 압력의 손실로 인해 노즐 표면으로 산화성 물질들의 공급 감소를 초래하여 표면에서 화학적 반응이 줄어들고 삭마량 감소가 발생하게 되었다.

앞서 설명한 내용을 바탕으로 노즐 형상 차이 이외의 장

기저장이 노즐목 삭마에 미친 영향을 분석하기 위해 2.5.1절의 Table 4의 온도반복시료 저온결과와 추력과 삭마량에 대해 종합하여 분석하였다. Table 4의 저온조건 시료의 평균추력과 삭마량은 각각 12%, 22% 감소하였으며, Table 9에서 저장 전 시료와 비교한 장기저장 시료의 평균추력과 삭마량은 각각 4.7%, 53.5% 감소하였다. 장기저장 시료에서 평균추력 감소율이 6.6% 높았지만, 삭마량은 32% 더 낮은 결과가 나타났다. 이는 평균추력의 감소 원인이 노즐 끝단부 형상 차이로 가정하였을 때, 평균추력 감소 대비 장기저장 시료에서 노즐목 삭마량 저하가 뚜렷하게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

따라서 저장 전 시료와 장기저장 시료 노즐 삭마량 비교를 통해 장기저장에 따른 노즐목 삭마량의 감소를 확인하였으며, 향후 추가 연구를 통해 장기저장과 노즐목 삭마의 관계에 대한 세부적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 3. 결론

본 연구에서는 ATJ Graphite 노즐목을 사용한 고체 추진기관의 장기저장에 따른 삭마 특성을 분석하기 위해 환경처리 조건, 환경시험 조건, 저장 전 시료에 대해서 시험 결과값의 증감비율을 비교하였다.

환경처리 조건별 분석결과 저온, 상온, 고온 순으로 노즐목 삭마율이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 또한, 가속노화시료가 온도반복시료 대비 비율적으로 삭마가 덜 이뤄진 것을 확인할 수 있었는데, 이는 내부 추진제 노화에 따른 열적 에너지의 감소 영향으로 판단된다.

환경시험 조건에 따른 노즐목 삭마율 변화는 없을 것으로 예상하였으나, 저온과 상온에서 동일 조건의 온도 반복 시료 대비 10% 이상의 변화율을 보였다. 변화를 보이는 주된 원인은 가공공차에 의한 것으로 추정되며 향후 세부적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

저장 전 시료와의 비교를 통해서 장기저장에 따른 노즐목 삭마량 감소에 대해 확인할 수 있었으며, 내탄도 성능에 영향을 미칠만한 삭마특성 변화는 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

향후 다른 장기저장 고체 추진기관의 수명평가 시 내탄도 성능 변화요인을 추정하는 데 본 연구 결과를 활용할 수 있을 것이라 생각한다.



## References

- [1] H. C. Hahm, Y. G. Kang, S. K. Seo, "A Study on the Influence Factors for Ablation Rate of Graphite Nozzle Throat Insert", Journal of the Korean Society of propulsion Engineerings, Vol. 21, NO.4, pp. 12-20, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.6108/KSPE.2017.21.4.012>
- [2] K. K. Kuo and S. T. Keswani, "A comprehensive theoretical model for carbon-carbon composite nozzle recession" combust Sci. and Tech, Vol. 42, pp. 145-164, 1985.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/00102208508960374>
- [3] B. H. Kim, J. W. Kim, H. H. Park, Y. Kim, "ATJ Graphite Nozzle ablation characteristic on the operation Condition of liquid Rocket", The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, pp.725-729, 2000.
- [4] Y. J. Kang, Y. R. Yang, S. H. Kim, U. C. Hwang, Y. I. Youm, "Numerical Investigation of Effects of Fluted Edge Shape on thrust in a Rocket Nozzle", Korean Society of Computational Fluids Engineering, Vol.2009, NO.11, pp. 8-12, 2017.
- [5] O. H. Kim, S. Y. Lee, D. I. Kim, B. Jung, B. H. Ye, J. W. Park, "A study on Anti-Abrasive Coating of Graphite nozzle throat", Journal of the Korean Society of propulsion Engineerings, pp. 207-213, 1995.

최 재 성(Jae-Sung Choi)

[정회원]



- 2012년 2월 : 충남대학교 대학원 항공우주공학과 (공학 석사)
- 2012년 2월 ~ 2013년 2월 : STX 엔진 주임
- 2013년 2월 ~ 2019년 7월 : LIG 넥스원 선임연구원
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 재직 중

<관심분야>

신호계측, 로켓추진

이 정 호(Jeong-Ho Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 공과대학원 기계항공공학부 (기계공학박사)
- 2012년 9월 ~ 2015년 1월 : 삼성전기(생산기술연구소) 책임연구원
- 2015년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정밀측정, 기계설계, 탄약신뢰성평가

조 현 철(Hyun-Chul Jo)

[정회원]



- 2019년 8월 : 울산대학교 공과대학 기계자동차공학과
- 2019년 7월 ~ 2020년 8월 : 현대건설기계 재직
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

탄약신뢰성평가, 추진기관, 국방품질