

130mm급 고체 추진기관의 장기 저장에 따른 내탄도 성능 분석

조시현*, 최재성, 이정호
국방기술품질원

Analysis of Internal Ballistics on 130mm-Scale Solid Rocket Motor by Long Term Storage

Si Hyeon Jo*, Jae Sung Choi, Jeong Ho Lee
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 논문은 장기 저장된 130 mm급 고체 추진기관의 지상연소시험 수행 결과 분석에 대한 논문이다. 유도탄은 설계, 개발, 시험, 양산을 통해 소요 군에 배치된다. 운용 환경 특성 상 장기 저장은 불가피하며, 유사시 사용될 수 있도록 저장 성능의 평가가 요구된다. 평가 결과를 통해 유도탄의 사용 유무를 결정하게 되므로 장기 저장된 추진기관의 내탄도 성능 분석을 위한 지상연소시험은 필수적이다. 본 연구에서는 장기 저장된 고체 추진기관의 신뢰성평가를 위해 지상연소시험을 수행하였고, 내탄도 성능을 계측하였다. 표준성능 시험과 가속노화 시험을 비교해 보았을 때 가속노화 시험의 결과에서 총 연소시간은 큰 차이가 없었으나 총 역적과 평균추력이 하락함에 따라 내탄도 성능에 차이가 있음을 확인하였다. 차이의 정도가 통계적으로 보았을 때 유의한 지 분석하기 위해 시험결과의 정규성(Normally) 및 등분산(homogeneity of variance)검정 후 2-표본 T검정(two sample t-test) 및 맨 휘트니 검정(Mann-Whitney test)을 수행하였다. 검정결과 “20°C에서 총 역적이 차이가 없다”로 설정한 귀무가설이 기각되었고, 이를 통해 추진기관의 노화가 진행됨에 따라 내탄도 성능에 차이가 발생함을 확인할 수 있었다. 고체 추진기관 수명 평가를 위한 분석기법으로 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 다양한 크기의 고체 추진기관에 적용하여 시험결과를 분석할 필요가 있다.

Abstract This paper analyzes the ground-firing test results of a 130mm-scale solid propulsion stored for a long time. Usually, the army deploys a missile after design, development, testing, and mass production. Moreover, long-term storage is inevitable due to the characteristics of the operating environment. Subsequently, evaluation of storage performance is required to handle emergencies effectively. The results of this evaluation usually determine whether or not to use the missile and if ground-firing tests are essential to analyze the performance of propulsion. This study conducted tests to evaluate the reliability of long-term stored solid propulsion and measured the performance of internal ballistics. Comparing the standard performance test and an accelerated aging test confirmed that the total combustion time didn't differ in the accelerated aging test results. However, there was a difference in performance as the total impulse and average thrust decreased in the accelerated aging test. In addition, a 2-sample t-test and a Mann-Whitney test were performed for statistical analysis. Subsequently, the normality and homogeneity of variance checks were performed on the test results, and the null hypothesis ("No difference in total impulse at 20°C") was rejected. The results of this analysis indicate that the difference in ballistic performance occurred as the propulsion ages. This method hence can be used as an analysis technique to evaluate the life of solid propulsion. However, future research is needed to analyze the test results for solid propulsion of various sizes.

Keywords : Solid Rocket Motor, Solid Propellant, Ammunition Stockpile Reliability Program, Ground-Firing Test, Internal Ballistics, T-Test

*Corresponding Author : Si-Hyeon Jo(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jshyun2001@dtaq.re.kr

Received September 1, 2021

Accepted January 7, 2022

Revised October 13, 2021

Published January 31, 2022

1. 서론

고체 추진기관은 복잡하지 않은 구조로 구성되어 임무 수행 시 즉각적인 발사 가능 및 초기 높은 추력을 발생시킬 수 있어 군사용 유도무기에 주로 적용되고 있다. 고체 추진기관의 내부 구성품에는 연소관, 노즐(nozzle) 등과 같이 금속, 복합소재를 갖는 구성품과 고체 추진제(solid propellant), 점화화약 등의 화공약품과 같은 물질이 적용된 구성품이 있다. 특히 고체 추진제의 경우 시간이 지날수록 노화가 진행되고 이에 따라 성능의 변화가 나타나는 시효성 품목이다. 이러한 이유로 유도무기의 수명은 시효성 품목으로 인해 결정된다[1].

유도무기의 수명을 평가하기 위해 저장 탄약 신뢰성 평가(ASRP : Ammunition Stockpile Reliability Program, 이하 ASRP)를 수행하게 된다. ASRP는 저장된 탄약에 대해 분석 및 기능 시험 등을 통해 시효성 품목인 탄약, 즉 유도무기에서는 추진기관의 신뢰성과 사용 가능성을 분석 및 평가하고, 수명주기를 판단하여 수명 특성을 분석하게 한다. 유도무기의 ASRP 평가 절차는 Fig. 1과 같으며 크게 시료 확보, 시험 준비, 시험평가, 시험 결과 분석의 단계로 이루어지며 시험 분석 후 유도무기에 대한 최종 수명이 분석된다[2].

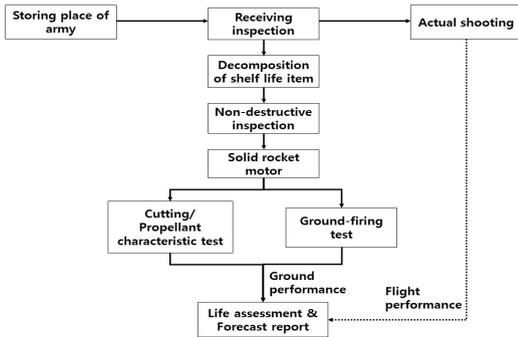


Fig. 1. Procedure for life test and evaluation of missile[2]

이 중 고체 추진기관의 경우 추진기관 절단 후 추진제 시료를 채취하여 물성 및 연소속도 등의 성능 분석을 통해 수명을 분석하는 방법과 추진기관의 성능 검증을 위한 지상연소시험을 통한 수명 분석 방법으로 나누어진다. 지상연소시험을 통한 수명 분석 방법은 크게 3가지로 먼저 표준성능 시험은 현재 저장된 상태에서의 추진기관의 성능 분석을 위한 사항으로 유도탄 운영조건(상온, 고온, 저온)에서 성능 시험, 지상연소시험을 수행하

여 성능을 분석한다. 온도반복 시험은 인위적인 온도 충격을 주어 실제 유도탄 운영성에 대한 검증으로 온도반복 시험 후 운영조건별 성능 시험을 수행하여 성능을 분석한다. 마지막으로 가속노화시험의 경우 차후 연도의 추진기관의 성능 확인을 위해 인위적으로 추진기관을 노화 시킨 후 성능 시험을 통해 추진기관의 수명 상태를 확인한다.

일반적으로 유도무기의 경우 대부분 00년을 수명주기로 하여 수명평가를 수행하며 이를 통해 수명 연장 유무를 검토하게 된다. 성능 평가는 양산시 수립된 성능 범위 내를 통해 수행하게 되며 실제적인 성능의 변화 정도를 이용은 하지 않고 있다. 장기적인 보관에 따른 수명평가는 추진제의 인위적인 노화, 가속노화를 통해 물성 및 성능을 분석하여 수행하고 있다[3]. 또한, 고체 추진기관의 경우 HTPB(Hydroxyl-Terminated Polybutadiene) 추진제를 주로 사용하며 HFC(Heat Flow Calorimeter) 장비를 이용하여 열 흐름 분석을 통한 추진제의 수명평가 기법에 대한 연구도 수행하고 있다[4]. 하지만 실질적으로 00년 이상 장기저장에 따른 추진기관의 지상연소시험을 통한 성능의 변화나 특성 분석은 수행하기 어려운 실적이다. 본 논문에서는 장기 저장된 130 mm급 추진기관의 지상연소시험을 통해 표준성능과 가속노화 시험의 결과를 비교하여 실제 장기 저장에 따른 성능 분석과 통계적 기법을 통해 추진기관의 성능이 유의한 차이를 보이는지 분석하고자 한다.

2. 추진기관 지상연소시험

2.1 시험 준비

2.1.1 시험 평가 시료 선정 및 준비

본 논문에서는 00년 이상의 장기 저장된 추진기관에 대한 성능 분석을 위해 평가용 시료를 선정하였다. 배치된 운영 탄에서 보관 중인 시료를 선정하였으며 시험 평가를 수행하는 절차는 Fig. 2와 같다. 장기 저장된 시료인 만큼 현재 상태의 추진기관 내부 이상 유무를 확인하기 위해 비파괴검사(non-destructive test)를 수행하여 이상이 없는 추진기관을 이용하여 지상연소시험을 수행하였다. 환경시험 적용 추진기관의 경우는 환경시험 종료 후 비파괴검사를 재수행하여 추진기관 상태 확인 및 이상 없는 추진기관에 대해 지상연소시험을 수행하였다.

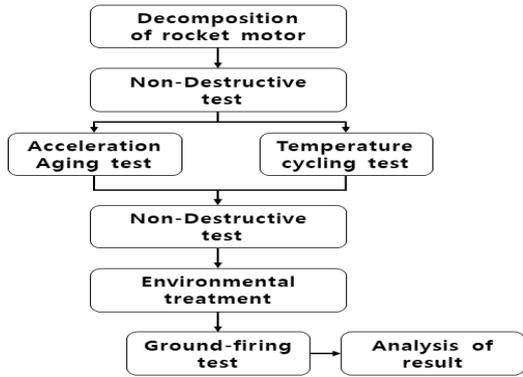


Fig. 2. Procedure for performing ASRP ground firing test of solid rocket motor

2.1.2 추진기관 환경시험

장기 저장된 추진기관의 성능 분석을 위해 크게 3가지의 환경시험을 수행 후 지상연소시험을 수행하였다. 먼저 시험에 적용된 추진기관의 실제 운영 환경인 -40 °C ~ 60 °C에서 현재 상태 분석을 위한 표준성능 시험으로 추진기관에 대해 상온(+20 °C), 고온(+60 °C), 저온(-40 °C)에서 24시간 이상 환경처리 후 지상연소시험을 수행하였다.

또한 운영 환경 변화 조건에 따른 추진기관 성능 분석을 위해 해당 고체 추진기관의 국방 규격에 따라 Fig. 3 과 같이 고온에서 저온으로 온도 변화를 3회 반복하는 온도반복시험을 수행하여 성능 분석을 수행하였다. 마지막으로 추진기관을 인위적으로 가속으로 노화시켜 향후 연도에 대한 성능 분석을 위해 고온에서 3개월 동안 유지시켜 추진제의 가속노화 후 지상연소시험을 통해 성능 분석을 수행하였다. 각 온도반복 및 가속노화시험의 경우 환경시험 완료 후 비파괴 검사를 수행, 이상 유무를 확인 후 각 상, 고, 저온에서의 시험을 수행하였다.

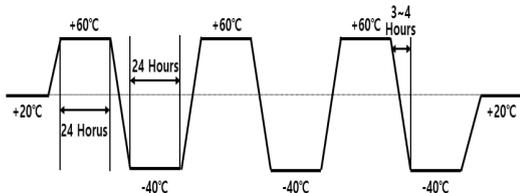


Fig. 3. Temperature cycling test for temperature cycle

2.2 지상연소시험 결과

추진기관의 비파괴검사를 통해 추진제 그레인(grain) 내부 결함 등의 이상이 없는 총 39조의 시료를 확보하였다. 각 표준성능 시험 24조, 온도반복시험 6조, 가속노화

9조를 확보하였으며 해당 시료의 지상연소시험을 통해 추진기관의 주요 성능인 총 역적, 총 연소시간, 평균추력에 대해 분석을 수행하였다. Fig. 4~6에서 Y축은 내탄도 성능을 나타내며, X축은 저장 기간으로 특정 연도(a)를 기준으로 표현하였다.

2.2.1 총 역적

총 역적은 추진기관에서 발생하는 총 에너지를 의미하며 추진기관 성능에 가장 중요한 성능 인자(factor)이다. 각 저장 연도에 따른 총 역적의 변화는 Fig. 4와 같다. 표준성능에서는 온도별로 유사한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있으며 실제 추진기관의 요구 성능 조건에도 만족하고 있음을 확인하였다. 온도반복시험 후의 성능 역시 표준 성능과 유사한 결과를 보이고 있으며 이는 현재 보관 중인 추진기관의 성능이 유지되고 있음을 보인다. 하지만 가속노화 후 연소시험 결과 동일 연도의 표준 성능 시험에 비해 약 0.8~1.2 % 하락하였으며 추진기관의 요구 성능 조건도 만족하지 못함을 확인하였다. 이를 통해 현재 저장된 상태에서는 추진기관의 성능이 유지되나 향후 1년 이상 해당 로트(lot)의 추진기관이 저장되면 성능이 급격히 떨어질 것으로 판단된다.

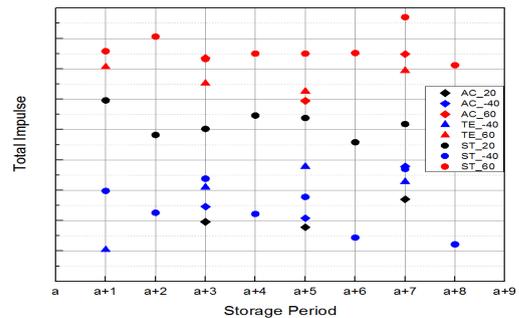


Fig. 4. Distribution chat of total impulse

2.2.2 총 연소시간

총 연소시간은 추진기관의 에너지가 발생하는 시간을 의미한다. Fig. 5는 저장 연도에 따른 총 연소시간 분포도이다. 연소시간의 경우 추진제의 연소속도와 연관되며 추진제의 온도 조건에 따라 변화 폭이 크게 나타난다. 본 시험 결과도 이처럼 추진기관의 온도 보관 조건에 따라 연소시간의 차이가 크게 나타나며 각 저장 연도에 따라 상/고/저온의 총 연소시간 변화 폭이 유사하게 나타남을 확인할 수 있다. 각 시험 조건별 상온에서의 총 연소시간은 추진기관의 요구 성능을 만족함을 확인하였다. 이는

장기저장에 따른 추진제의 노화가 추진제의 연소속도에는 큰 영향을 주지 않음을 확인할 수 있다.

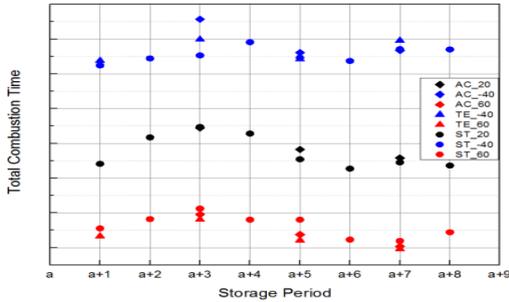


Fig. 5. Distribution chat of total combustion time

2.2.3 평균추력

평균추력은 연소시간 동안 발생하는 추력의 평균값을 의미한다. Fig. 6은 저장 연도에 따른 평균추력의 분포도이다. 평균추력의 양상도 연소시간과 같이 시험 온도 조건에 따라 유사한 변화 폭을 보인다. 하지만 가속노화 후 상온 시험의 경우 표준성능의 시험 결과에 비해 평균추력이 약 2~5 % 정도 낮게 형성되었다. 이는 앞서 총 역적 결과 분석과 유사한 형태를 보이며 총 연소시간에서는 가속노화에 따른 연소시간의 차이가 없었으나 평균추력의 차이로 전체적인 추진기관의 추력이 감소되어 총 역적이 낮아지는 향상이 보임을 확인할 수 있다. 이를 통해 장기 저장됨에 따라 추진제의 연소속도에는 영향이 적으며 발생시키는 에너지의 양에 영향이 있음이 확인된다.

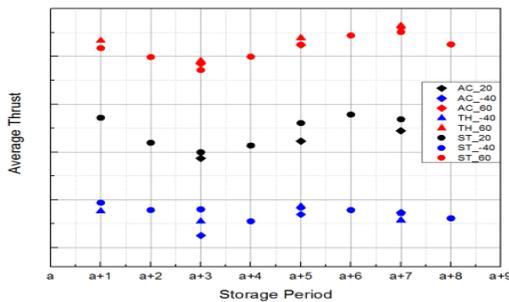


Fig. 6. Distribution chat of average thrust

3. 통계적 기법을 통한 결과 분석

3.1 통계적 기법 적용 방안

통계적 기법을 통해 표준성능시험과 가속 노화시험 결

과 간의 차이가 있는지 검증하였다. 검증 수행에 앞서 Table 1과 같이 분류 후 총 역적, 총 연소시간, 평균추력의 데이터를 이용하였다.

Table 1. Sample of T-test

Test	Storage period	Temperature(℃)	N
Standard performance	a+3	20	9
		60	
		-40	
	a+5	20	
		60	
		-40	
	a+7	20	
		60	
		-40	
Accelerated aging	a+3	20	9
		60	
		-40	
	a+5	20	
		60	
		-40	
	a+7	20	
		60	
		-40	

본 시험데이터는 모집단(population)에 대한 표준편차(standard deviation)가 미지한 경우로 t-검정을 수행하였다. t-검정의 종류는 표본(sample)에 따라 나뉘며 독립표본인 두 집단의 차이에 대한 검정이므로 2-표본 t-검정을 수행하였다. 정규성 검정과 등분산 검정을 수행 후 두 조건을 모두 만족한 경우에는 모수적(parametric) 방법인 2-표본 t-검정을 수행하였고, 반대의 경우 독립표본의 비모수적(non-parametric) 방법인 맨 휘트니 검정을 수행하였다.

3.2 정규성 검정

t-검정을 수행하기 위해서는 데이터의 분포가 정규분포(gaussian distribution)에 가까운 지 확인해야한다. 정규성 검정은 그래프를 통해 시각적으로 확인할 수도 있으며[5] 본 연구에서는 Minitab 프로그램을 활용하여 P-값을 통해 정규성을 확인하였다. 정규성 검정의 가설은 아래와 같이 설정하였다.

- 귀무가설 H_0 : 정규성이 성립한다.
- 대립가설 H_1 : 정규성이 성립하지 않는다.

정규성의 확인은 아래와 같이 p-값을 통해 확인할 수

있다.

P-value ≥ 0.1 : 귀무가설 H_0 채택

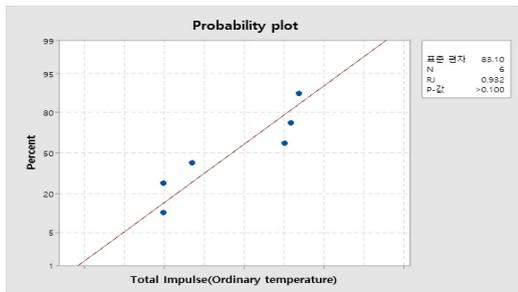
P-value < 0.1 : 귀무가설 H_0 기각

정규성 검정 결과는 Table 2와 같으며 -40 ℃ 조건에서 총 연소시간과 평균추력의 데이터에서 P-value가 0.1 이하로 귀무가설을 기각 즉, 정규분포를 따르지 않음을 확인하였다.

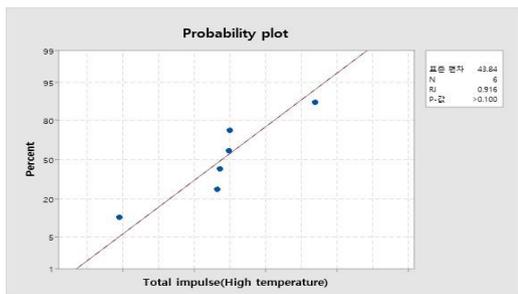
Table 2. Result of normality-test

Performance	Temperature (℃)	RJ	P-value
Total impulse	20	0.932	>0.100
	60	0.916	>0.100
	-40	0.972	>0.100
Total combustion time	20	0.919	>0.100
	60	0.975	>0.100
	-40	0.830	<0.010
Average thrust	20	0.979	>0.100
	60	0.970	>0.100
	-40	0.843	0.012

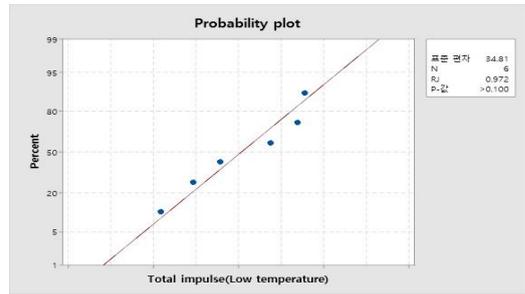
Fig. 7~9는 정규성 검정결과에 대한 확률도(probability plot)이며 데이터의 분포가 직선에 가깝게 나타날수록 정규분포를 따르게 된다.



(a)

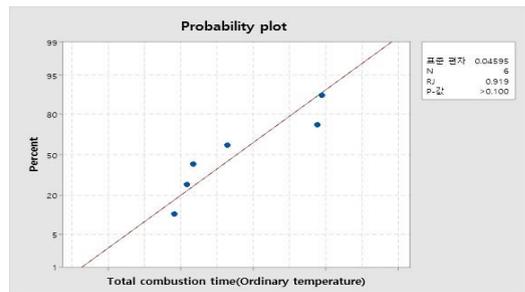


(b)

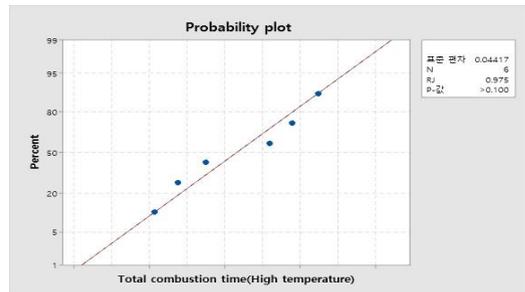


(c)

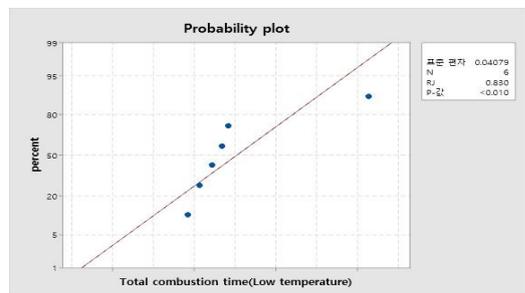
Fig. 7. Probability plot(Total impulse)
(a) 20 ℃ (b) 60 ℃ (c) 40 ℃



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. Probability plot(Total combustion time)
(a) 20℃ (b) 60℃ (c) 40℃

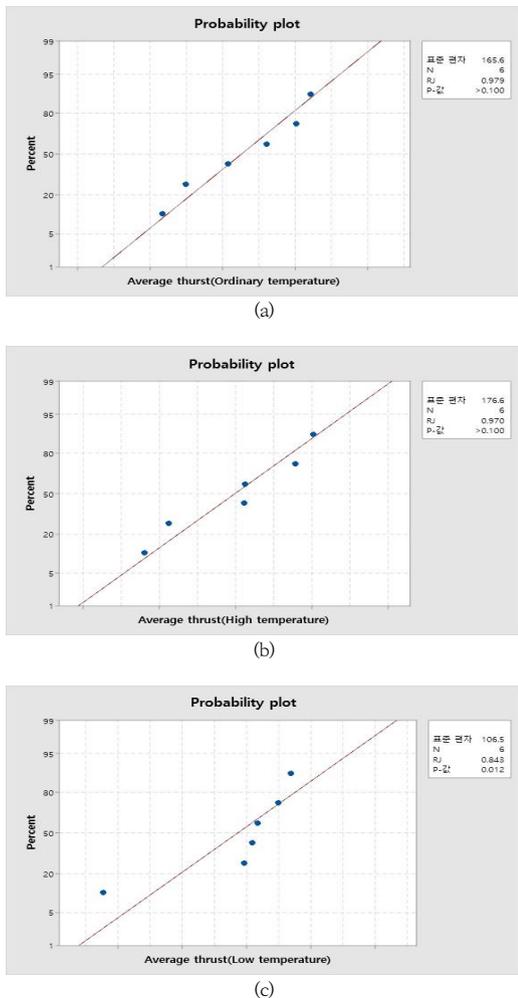


Fig. 9. Probability plot(Average thrust)
(a) 20 ℃ (b) 60 ℃ (c) 40 ℃

3.3 등분산 검정

정규성 검정 후 데이터의 등분산 검정을 수행하였고, 다음과 같이 가설을 설정하였다.

- 유의수준(α) : 5 %
- 귀무가설 H_0 : 등분산성이 성립한다.
- 대립가설 H_1 : 등분산성이 성립하지 않는다.

검정방법으로는 다중 비교 방법을 사용하였으며, 등분산성 여부는 아래와 같이 P-value와 유의수준의 비교를 통해 확인할 수 있다.

- P-value > 0.05 : H_0 채택
- P-value ≤ 0.05 : H_0 기각

Table 3은 검정 결과로 모두 p-값이 유의수준보다 높게 나오므로써 데이터의 등분산성을 확인하였다.

Table 3. Result of equal variance-test

Temperature (℃)	Multiple comparison p-value ($\alpha=0.05$)		
	Total impulse	Total combustion time	Average thrust
20	0.248	0.702	0.679
60	0.830	0.980	0.913
-40	0.358	0.082	0.073

3.4 t-검정 결과

3.4.1 2-표본 T-검정 결과

정규성 검정을 통해 정규성이 검증되지 않은 2개의 조건을 제외한 7개 조건에서의 시험 결과를 대상으로 검정을 수행하였고, T-검정의 가설은 다음과 같이 설정하였다.

- 유의수준(α) : 5 %
- 귀무가설 H_0 : 00 ℃에서 표준성능시험과 가속노화시험 간 내탄도 성능에 차이가 없다.
- 대립가설 H_1 : 00 ℃에서 표준성능시험과 가속노화시험 간 내탄도 성능에 차이가 있다.

Table 4는 2-표본 t검정의 수행 결과이다.

Table 4. Result of two sample t-test

Performance	Temperature(℃)	T-value	P-value
Total impulse	20	11.15	0.000
	60	-0.88	0.427
	-40	-1.39	0.237
Total combustion time	20	0.31	0.775
	60	-0.66	0.544
Average thrust	20	-0.91	0.415
	60	0.23	0.832

본 연구에서는 차이의 유/무에 대한 검정으로 양쪽 방향의 차이를 검정하는 양측검정(two-sided test)을 수행하였다.

검정에 대한 분석 방법은 두 가지로 먼저, T-value와 t-분포표의 t 값과 비교하여 귀무가설의 기각 여부를 판단할 수 있으며 Table 4를 통해 20 ℃ 조건에서 총 역적의 T-value가 11.15이므로 Fig. 10과 같이 유의수준이

0.05일 때 t 값인 4.303보다 크므로 귀무가설(H_0)이 기각된다.

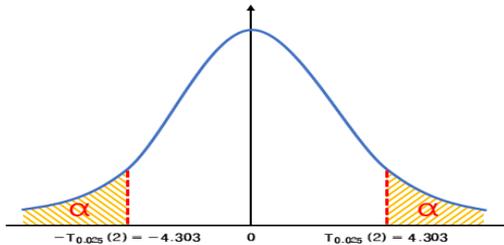


Fig. 10. t-distribution(two-sided test)

또한, P-value를 통해서도 귀무가설의 기각 여부를 판단할 수 있다. P-value는 유의확률로도 불리며 확률분포 그래프에서 양쪽 극단 값의 범위를 설정하여 통계적으로 나오는 결과의 신뢰성을 보여주는 값으로 P-value가 작아질수록 가정하는 주장에 대한 신뢰도(reliability)가 올라가게 된다[6]. 즉, P-value가 설정한 유의수준 이하이면 두 집단 간에 유의미한 차이가 있는 것으로 귀무가설을 기각하게 된다.

- P-value > 0.05 : H_0 채택
- P-value ≤ 0.05 : H_0 기각

Table 4를 통해 20 ℃에서 총 역적의 P-value가 유의수준보다 낮게 나옴을 확인할 수 있었다. 즉, “20 ℃에서 표준성능시험과 가속노화시험 간 총 역적에 차이가 있음”을 확인할 수 있었다.

3.4.2 맨 휘트니 검정 결과

정규성 검정을 통해 정규성이 검증되지 않은 2개 조건에서의 시험 데이터를 대상으로 비모수 검정인 맨 휘트니 검정을 수행하였다. 검정에 앞서 가설은 아래와 같이 2-표본 T-검정과 동일하게 설정하였다.

- 유의수준(α) : 5 %
- 귀무가설 H_0 : 00 ℃에서 표준성능시험과 가속노화시험 간 내탄도 성능에 차이가 없다.
- 대립가설 H_1 : 00 ℃에서 표준성능시험과 가속노화시험 간 내탄도 성능에 차이가 있다.

맨 휘트니 검정 통계량(W-value)은 표본의 크기에 따라 해석이 달라지며, Minitab에서 맨 휘트니 검정 통계량을 통해 계산된 P-value를 이용하여 검정을 수행하였다. P-value와 검정 수행 전 설정한 유의수준과의 비교를 통한 귀무가설의 기각 여부는 다음과 같이 결정하게 된다.

- P-value ≥ 0.05 : H_0 채택
- P-value < 0.05 : H_0 기각

Table 5는 맨 휘트니 검정 결과이며, 두 시험조건에서의 결과 모두 P-value가 유의수준보다 높게 나오므로써 귀무가설을 채택하게 된다. 즉, “-40 ℃에서 표준성능시험과 가속노화시험 간 총 연소시간과 평균추력에 차이가 없음”을 확인할 수 있었다.

Table 5. Result of Mann-Whinety test

Performance	Temperature (℃)	W-value	P-value
Total Combustion time	-40	13.00	0.383
Average thrust	-40	7.00	0.190

4. 결론

장기적으로 저장된 고체 추진기관에 대한 실제 지상연소시험을 수행하였고 주요 내탄도 성능인 총 역적, 총 연소시간, 평균추력에 대한 저장 연도별 분포도 분석을 통해 성능 분석을 수행하였다. 온도반복시험 시료 확보의 제한으로 각 온도 조건별로 3조 이상씩 확보된 표준성능시험과 가속노화시험 시험 결과를 비교하였고, 그 결과 현재 저장된 상태에서의 성능 변화는 나타나지 않고 있음을 확인하였으나 추진기관의 가속노화를 통한 성능 시험 결과 총 역적에서 약 0.8~1.2 %의 성능 하락이 확인되며 해당 범위는 추진기관이 요구되는 총 역적을 만족하지 못해 추진기관의 수명이 도달하였음을 확인할 수 있었다.

또한 통계적 기법을 통해 상온의 조건에서 표준성능과 가속노화시험의 총 역적에 대한 시험 결과의 차이가 통계적으로 있음을 확인하였다. 동일 로트의 추진기관에 대한 가속노화 및 표준성능시험 결과, 가속노화 한 추진기관 집단(샘플링 집단)의 값이 통계적 관점에서 규격 값을 벗어났다고 할 수 있다. 즉, 가속 노화된 추진기관의 성능 저하가 일어났음을 통계적 분석을 통해 확인할 수 있었다.

본 논문의 통계적 데이터 분석 방법을 적용함으로써 시험 결과 분석의 신뢰성을 높일 수 있었고, 고체 추진기관 수명평가를 위한 데이터 분석 방법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 고체 추진기관의 장기 저장에 따른 ASRP 임무를 지속적으로 수행하면서 130mm급 외에도 다양한 크기 및 추력 성능을 가진 고체 추진기관의 지상연소시험 데이터가 확보된다면 해당 분석 기법을 통해 추진기관의 크기 및 추력별로 내탄도 성능을 분석할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] B. H. Kim, K. H. Hwang, J. W. Hur, "A Study on the Reliability Improvement of Guided Missile", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 16, No. 3, pp.208~215, 2016.
- [2] B. N. Ryoo, B. Y. Kim, J. C. Yoo, "A Study on The Missile Service Life Extension Plan", *KSPE Spring Conference, The Korean Society of Propulsion Engineers*, KOREA, PP.163~167, MAY 2017.
- [3] J. H. Park, N. S. Ryu, J. B. Park, G. D. Jung, "Natural Aging Properties Analysis of HTPB Propellant", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 23, No. 1, pp.9~14, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2019.23.1.009>
- [4] W. H. Cho, M. Westerlund, B. N. Ryoo, "HTPB Propellant Ageing Property and HFC Base Shelf-life Evaluation Method", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 22, No. 5, pp. 59-65, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2018.22.5.059>
- [5] J. Y. Lee, S. W. Lee, "Power Analysis For Normality Plots", *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, Vol, 10, No. 2, pp.429~436, 1999
- [6] S. W. Kim, J. M. Song, "Statistical hypothesis testing using deep learning : Focusing on two sample t-test", *Journal of the Korean Data And Information Science Society*, Vol. 32, No. 1, pp.25~35, 2021.

조 시 현(Si-Hyeon Jo)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경상대학교 공과대학 산업공학과
- 2017년 2월 ~ 2019년 6월 : 하이즈항공 주임
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

탄약신뢰성평가, 신호계측

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