

단기추진제 저장수명 예측을 위한 온도분포형태 영향성 분석

안대희*, 노예은, 윤주현, 이상봉
국방기술품질원

Analysis of the effects of the temperature distribution type for the shelf life prediction of single-base propellants

Dae-Hee An*, Ye-Eun Noh, Ju-Hyun Yoon, Sang-Bong Lee
Defense Agency for Technology and Quality

요약 추진제는 "1회성 시스템(one-shot system)"으로 수명주기 동안 장기간 저장된다. 단기추진제의 주요성분인 Nitrocellulose는 저장 중 온도, 습도 등의 환경요인에 의해 분해되는 성질이 있어 초기의 품질수준 유지가 어렵다. 이러한 추진제의 특성을 고려하여 추진제 전순기(Total Life Cycle) 동안의 품질 신뢰성 확보가 필요하고, 추진제의 정확한 수명 예측을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문은 저장환경의 온도분포형태가 단기추진제의 저장수명에 미치는 영향에 관한 연구논문이다. 탄약 저장시설 내의 온도분포를 여러 형태로 가정하였고 분포형태를 확률밀도함수로 근사, 저장수명의 기댓값을 도출하였다. 평균온도는 25 °C로 동일하지만 온도분포형태에 따라 기대되는 저장수명은 114년에서 217년으로 큰 차이를 보인다. 이를 통해 동일한 평균온도를 가지더라도 저장소가 위치한 환경에 따라 다양한 형태의 온도분포형태에로 인해 저장수명에 영향을 미칠 수 있으며, 낮은 온도의 비율이 높을수록 저장수명의 기댓값이 커질 수 있음을 확인하였다. 온도분포형태별 확률밀도함수를 누적분포함수로 나타내면 저장환산온도는 누적분포함수의 40 %에 해당하는 온도와 11 % 이내의 편차를 가진다. 보다 정확한 저장수명을 예측하기 위해선 평균온도만이 아닌 온도분포를 고려하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

Abstract The propellant is a "one-shot system" stored for long periods in its life cycle. Nitrocellulose, a major component of the single-base propellant, can be decomposed by environmental factors, such as temperature and humidity during storage, making it difficult to maintain the initial level of quality. Considering the characteristics of the propellant, it is necessary to ensure a reliable quality throughout the life cycle of the propellant. Various studies have been conducted to predict the life of a propellant accurately. This study investigated the effects of the temperature distribution type of storage environments on the shelf life of single-base propellants. Various types of temperature distributions in the ammunition storage facility were assumed, and the distribution type was approximated with a probability density function to derive the expected shelf life. The average temperature was the same at 25 °C, but the expected shelf life varied significantly from 114 years to 217 years, based on the temperature distribution type. These results suggested that the storage life could be affected by various types of temperature distributions depending on the environment in which the storage is located; the higher the proportion of low temperatures, the longer the expected storage life. If the probability density function for each temperature distribution type is expressed as a cumulative distribution function, the value of the storage conversion temperature has a deviation within 11 % of the temperature that corresponds to 40 % of the cumulative distribution function. When predicting the shelf life accurately, it would be appropriate to consider the temperature distribution type rather than the average temperature.

Keywords : Shelf Life, Temperature, Single-Base Propellant, Probability Density Function, Expectation, Cumulative Distribution Function

*Corresponding Author : Dae-Hee An(Defense Agency for Technology and Quality)

email: mirae4@dtaq.re.kr

Received April 29, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised June 4, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

추진제는 “1회성 시스템(one-shot system)”으로 수명주기 동안 장기간 저장된다[1]. 추진제의 성능과 안전성은 제조 당시 품질수준에 의해 확보되지만 저장 중 여러 요인에 의해 초기품질수준 유지가 어려워 수명예측을 통해 신뢰성 확보가 필요하다[2]. 추진제의 저장수명은 안정제의 함량을 기준으로 판단한다. 실제 저장 환경에 있는 추진제의 안정제 함유량을 측정해 분석하는 것이 가장 좋으나, 대부분 경제적, 시간적 사유로 고온 가속노화시험을 통해 저장수명을 예측한다[3]. 실제 저장환경은 저장소 간 일교차, 계절에 따른 온도분포 등 다양한 요인이 있어 정확한 추진제 수명 예측을 위해 보다 다양한 연구 분석이 필요하다.

추진제 저장수명 예측 관련 연구는 저장온도와 노화시간에 따른 안정제 함량을 분석하여 반응속도 식을 모델링하는 방안과[4-8] 확률론적 예측방법이 있다[9]. 현재 국내에서는 반응속도 상수를 구하고 Arrhenius, Berthelot식 등을 이용하여 일정온도에서의 저장수명 예측에 관한 연구는 있으나, 온도분포형태가 저장수명에 미치는 영향에 대해 분석한 연구결과는 없다.

본 연구에서는 단기추진제 저장수명 예측에 온도분포형태가 미치는 영향에 대해 분석하고자 한다. 기존 n차 반응속도 모델링을 통해 예측된 추진제 저장온도대별 저장수명 예측값에 임의로 가정한 다양한 형태의 저장소 온도분포를 확률밀도함수로 근사하고 기댓값 개념을 도입하여 온도분포형태가 저장수명에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 최적의 저장수명 예측을 통한 추진제 전순기(Total Life Cycle) 동안의 품질 신뢰성 확보에 기여하고자 한다.

2. 연구 및 이론적 배경

2.1 연구배경

기존의 단기추진제 저장수명 예측 연구는 고온 가속노화시험을 통해 일정한 저장온도에 대한 저장수명을 예측하는 방법으로 연구되었다[4-8,10]. 실제 저장환경은 일별, 계절별 온도에 차이가 있으며, 저장수명은 저장온도에 큰 영향을 받는다.

Fig. 1과 같이 확률밀도함수와 기댓값 개념을 도입해 온도분포가 저장수명에 미치는 영향을 분석하여 보다 명확한 저장수명 예측의 방법을 제시하고자 한다.

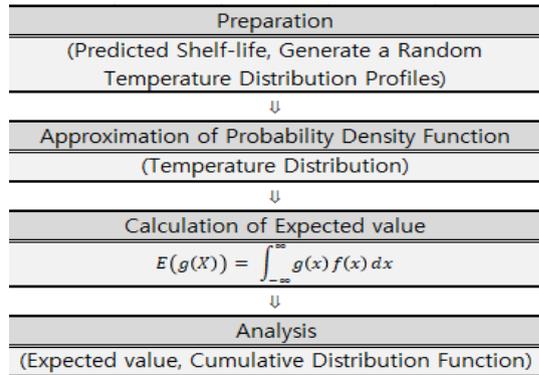


Fig. 1. A Procedure about the study

2.2 추진제 분해 및 안정제 특성

2.2.1 추진제 분해 특성

단기추진제의 주요성분인 Nitrocellulose(이하 NC)는 장기 저장 시 온도, 수분, 산 등의 영향으로 가수분해와 열분해 등 자연분해 되어 NO₂, NO₃ 등의 질소산화물과 HNO₃를 생성한다. 이러한 자연분해 생성물은 자동촉매반응을 유도하고 추진제의 온도를 상승시켜 열분해 반응으로 자연분해를 가속시키고, 자연발화를 유발할 수 있다[10-12].

2.2.2 안정제 특성

추진제 저장 시 NC의 자연분해 특성으로 인해 안정제를 첨가하여 자연분해를 지연시킨다. 안정제는 NC보다 질소산화물과 친화력이 높아 NC보다 먼저 반응해 분해반응을 억제한다. 단기추진제는 주로 유기안정제인 DPA(Diphenylamine)가 사용되며, 안정제 함량에 따른 저장등급은 미육군 보급회보의 기준에 따라 Table 1과 같이 분류된다[10-13].

Table 1. Storage stability class of stabilizer content

Class	Stabilizer residual content(wt%)	Shelf Life
A	More than 0.30	Maintain
C	0.20 ~ 0.29	Consumption within 0 year
D	Under 0.20	Disposal within 00 day

2.3 저장수명 예측 방안

2.3.1 n차 반응속도 모델

추진제 저장수명 예측은 저장온도별 시간의 경과에 따

른 안정제 함유량을 분석하는 1단계, 앞서 분석한 안정제 함유량을 바탕으로 식을 모델링하여 저장수명을 예측하는 2단계의 과정으로 나누어진다.

1단계의 경우는 경제성과 시간의 제한으로 대부분 고온가속노화시험을 적용하고, 2단계의 경우 국내에서는 Arrhenius Equation 등을 적용하여 0차, 1차 또는 n차의 반응차수를 기반으로 반응속도를 모델링하여 저장수명을 분석 및 예측하고 있다[4-8,12].

2.4 확률밀도함수와 기댓값

2.4.1 확률밀도함수

확률밀도함수는 온도, 강수량과 같이 연속된 실수구간의 값을 취하는 연속확률변수의 분포를 나타내는 함수이다.

어떤 연속확률변수 X 의 히스토그램은 Fig. 2의 (a)와 같다. 각각의 직사각형 넓이는 그 범위의 상대도수를 의미하며, 상대도수의 합은 항상 1이므로 직사각형들의 넓이의 합은 1이 된다. 이때 자료의 크기가 충분히 큰 경우 측정단위를 줄여 계급의 폭을 충분히 작게 나누면 히스토그램의 형태는 Fig. 2의 (b)와 같이 나타낼 수 있다.

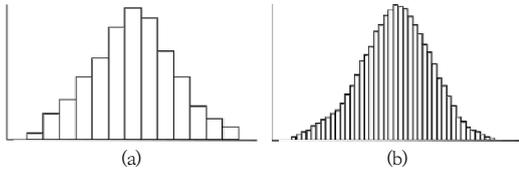


Fig. 2. Histogram

나아가 측정단위를 세분화해 계급의 크기를 0에 수렴하게 만들고 히스토그램 뒷변의 중점을 연결해 Fig. 3과 같이 곡선의 형태로 나타낼 수 있다.



Fig. 3. Probability density function

이 곡선은 어떤 함수의 그래프가 되고 이때의 함수를 연속확률변수 X 의 확률밀도함수라 하며 식 (1), (2), (3)의 성질을 가진다[14,15].

$$f(x) \geq 0 \tag{1}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \tag{2}$$

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx \tag{3}$$

2.4.2 기댓값(expectation)

기댓값이란 확률변수가 특정 값을 가질 때의 확률을 가중한 값으로 확률변수 결과값의 평균이다. 연속확률변수 X 의 확률밀도함수가 $f(x)$ 일 때 X 의 기댓값은 식 (4)와 같다.

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \tag{4}$$

X 가 확률밀도함수 $f(x)$ 를 갖는 연속확률변수이고 함수 g 의 정의역이 X 의 치역을 포함하면 새로운 확률변수 $g(X)$ 의 기댓값은 식 (5)와 같다.

$$E(g(X)) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)f(x)dx \tag{5}$$

2.4.3 누적분포함수

확률변수 X 의 누적분포함수 $F(x)$ 는 X 가 x 보다 작거나 같을 확률 $P(X \leq x)$ 이다. 따라서 확률밀도함수가 $f(x)$ 인 연속확률변수 X 에 대하여 누적분포함수 $F(x)$ 는 식 (6)과 같다.

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt \tag{6}$$

따라서 $f(x)$ 가 연속일 경우 누적분포함수의 도함수는 확률밀도함수가 된다.

$$f(x) = F'(x) \tag{7}$$

이러한 특성으로 인해 확률밀도함수를 구하기 전 누적분포함수를 먼저 구하는 경우가 있다[16].

3. 결과 및 고찰

3.1 온도분포 형태에 따른 저장수명 기댓값

온도분포형태가 저장수명에 미치는 영향성을 분석하기 위해 저장온도별 예측 저장수명 값과, 가정한 저장소의 온도분포 형태별 확률밀도함수를 이용하여 온도분포

형태에 따른 저장수명의 기댓값을 계산하였다.

저장온도별 예측 저장수명 값은 n차 반응속도 모델을 적용하여 단기추진제 저장수명을 예측한 결과를 적용하였다[6]. 최적반응차수는 1.15484, SSE는 16.824로, 최적반응차수를 적용하여 미 육군 보급회보 및 저장탄약 시험절차에 나오는 등급을 기준으로 저장온도 조건별 수명 예측결과는 Fig. 4와 같으며 저장온도가 높아질수록 저장수명은 급격히 감소하여 저장수명은 저장온도에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

저장소의 온도분포는 지리적, 계절적 영향에 따라 다양한 온도분포를 가진다. 실제 저장소의 연간 온도 데이터를 수집하여 분석하는 것이 가장 좋으나 데이터 확보가 어려워, 다양한 분포형태의 온도 프로파일을 임의로 생성하여 저장수명에 대한 온도분포의 영향성을 분석하였다. 평균온도는 추진제의 저장수명을 연구한 박성호 외[1], 조기홍 외[3] 등의 연구를 참고하여 상온 25 ℃를 기준으로 분석하였다.

여러 형태의 온도분포를 구성하기 위해 랜덤함수(Excel 난수발생함수)를 이용하여 평균온도 25 ℃를 갖는 임의의 온도분포형태(정규분포, 쌍봉분포, 다봉분포) 프로파일을 생성하였다.

생성된 온도분포는 온도(T)를 확률변수로 하는 확률밀도함수 $f(t)$ 로 근사 할 수 있으며, 확률밀도함수 그래프는 Fig. 5와 같다.

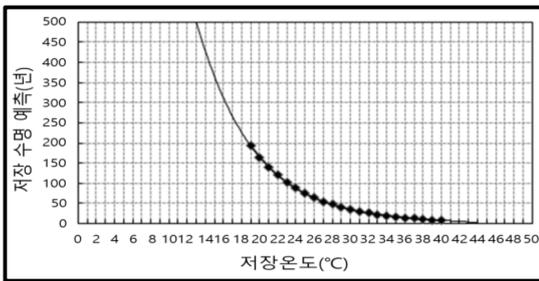


Fig. 4. Variation of predicted shelf-life with storage temperature

Fig. 4의 저장온도별 저장수명 값 역시 저장온도를 확률변수로 가지는 $S(t)$ 로 나타낼 수 있다. 이때 T 의 함수로서 S 로 정의된 해당 온도분포에서의 저장수명에 대한 기댓값은 식 (8)과 같다[17].

$$E[S(T)] = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot f(t) dt \quad (8)$$

3.2 온도분포 형태에 따른 저장수명 영향성

온도분포형태에 따른 저장수명의 기댓값은 Table 2와 같다. 동일한 평균온도라도 온도분포에 따라 최소 114년에서 최대 217년까지 큰 차이가 보이는 것을 확인하였다.

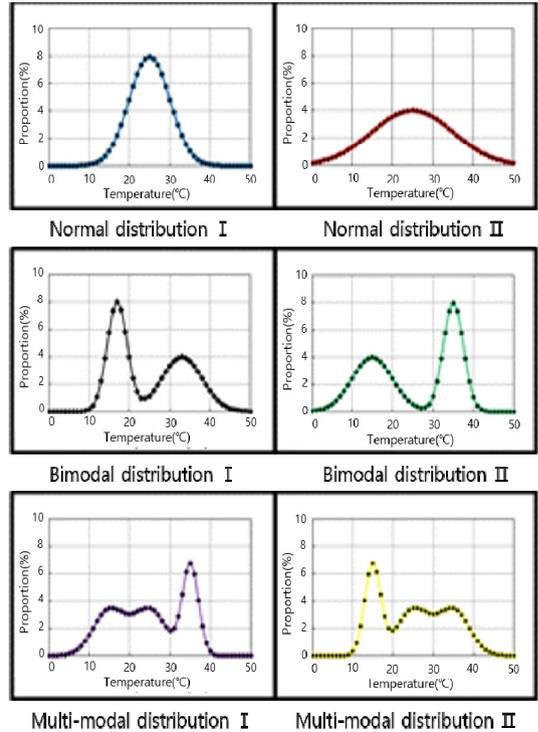
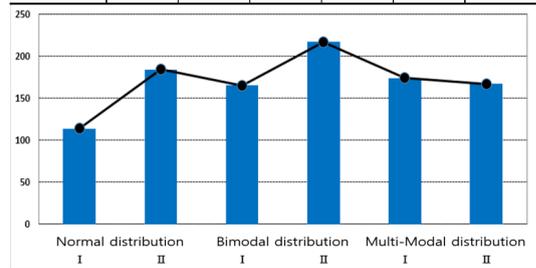


Fig. 5. Temperature distribution in storehouse

Table 2. Expected result of shelf life

Category	Normal distribution		Bimodal distribution		Multimodal distribution	
	I	II	I	II	I	II
Expected result	114	184	165	217	174	167



저장온도가 저장수명에 차지하는 비율은 Fig. 6과 같으며 Fig. 5와 Fig. 6의 최빈수 온도는 Table 3에 정리하였다. 저장수명이 217년으로 가장 긴 Bimodal II를 살펴보면 연평균 저장온도의 최빈수 값은 35 °C로 다른 분포에 비해 높지만 저장수명에 가장 큰 비율을 차지하는 온도는 12 °C로 가장 낮은 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 기댓값은 관측된 값에 그 값이 차지하는 비율을 곱하여 더한 값으로, 각 값의 비율에 따라 가중되기 때문이다[17].

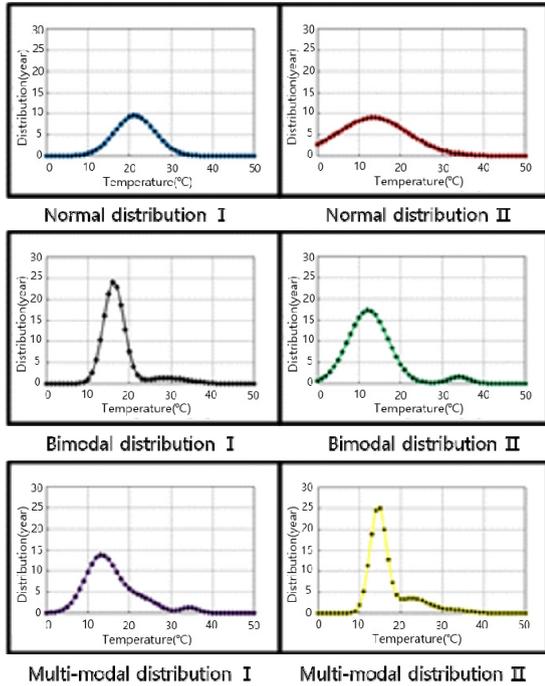


Fig. 6. Distribution of Shelf life

Table 3. Mode temperature value by distribution

Category		Normal distribution		Bimodal distribution		Multimodal distribution	
		I	II	I	II	I	II
Mod temperature (°C)	Temperature distribution	25	25	17	35	35	15
	Shelf life distribution	21	14	16	12	13	15

Fig. 4에서 알 수 있듯이 저장온도가 높아질수록 저장수명은 큰 폭으로 감소하면서 저장수명 감소폭은 줄어든다. 이번 연구를 통해 분석한 결과 저장수명은 온도분포의 최빈수 온도의 영향보다는 저장온도가 낮을수록, 낮

은 온도의 비율이 높을수록 저장수명의 기댓값이 커질 수 있다는 것을 확인하였다.

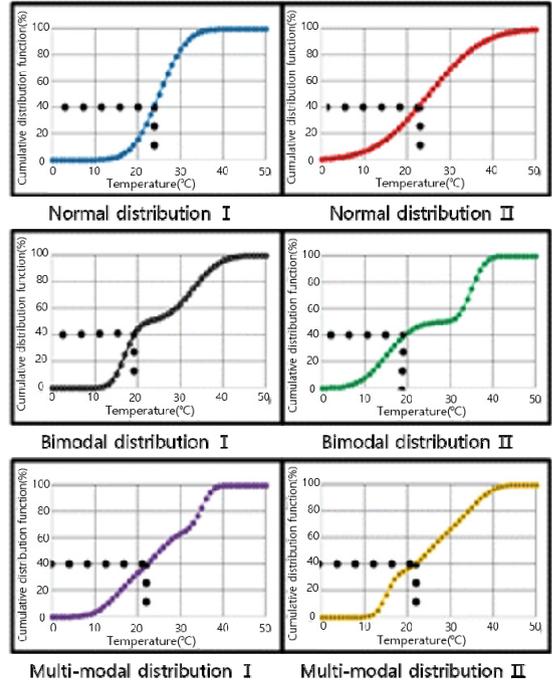


Fig. 7. Cumulative distribution function by temperature distribution

Table 4. Shelf life temperature for life expectancy

Category	Normal distribution		Bimodal distribution		Multimodal distribution	
	I	II	I	II	I	II
Storage conversion temperature for life expectancy (°C)	23.5	20.1	20.9	19.1	20.5	20.9
Cumulative distribution function 40% temperature (°C) (Black dotted line)	23.7	22.5	19.1	19.1	22.1	21.9
Deviation(%)	0.84	10.67	9.42	0	7.24	4.57

평균온도가 아닌 온도분포를 고려한 저장수명 분석결과와 단순히 평균온도(25 °C)로 저장수명을 예측하였을 때 62년[6] 이었던 것에 비해 적게는 114년에서 많게는 217년으로, 평균온도만을 고려한 예측결과와 온도분포를 고려한 저장수명은 차이가 있다. 즉, 동일한 평균온도를 갖는 저장소라도 환경에 따라 다양한 온도분포형태를 가질 수 있으며 추진제의 저장수명에 차이가 발생할 수 있음을 확인하였다.

온도분포형태별 확률밀도함수를 누적분포함수로 나타내면 Fig. 7과 같다. 계산된 기대수명에 대해 일정저장온도로 환산했을 때의 온도와 누적분포함수의 40 %의 온도 값을 Table 4에 나타내었다. 해당온도를 비교하였을 때 기대수명에 대한 환산온도는 누적분포함수의 40 %에 해당하는 온도와 11 %이내의 편차를 가지는 것을 확인하였다.

앞서 언급한 것과 같이 추진제는 장기 저장되며 수명이 점차 감소되는 특성이 있다. 이러한 추진제의 특수성을 고려하여 추진제 수명연장을 위해 제조과정에 CaCO_3 [7,10], 활성탄소섬유[18] 등을 첨가하는 방법과 지상형 탄약고의 지붕 재질 및 형태를 변경하여[12] 내부 온도를 낮추는 방법이 있다.

이와 더불어 본 연구의 온도분포의 영향성을 고려하여 저장소의 내부온도를 일정하게 유지하는 온도 관리기준을 마련하여 추진제의 품질수준을 일정하게 관리한다면 추진제 저장수명 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저장소의 온도편차를 고려하여 ASRP (Ammunition Stockpile Reliability Program) 주기를 설정한다면 불필요한 시험을 줄여 예산절감을 통한 경제성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 단기추진제의 저장수명에 온도분포형태가 미치는 영향에 대해 알아보았다. n차 반응속도 모델을 적용하여 도출한 온도별 저장수명 값과, 온도분포에 확률밀도함수와 기댓값 개념을 도입해 저장소의 온도분포형태와 저장수명 사이의 관계를 도출하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동일평균온도(25 ℃)를 갖는 저장소라도 온도분포형태에 따라 기대되는 저장수명은 114~217년으로 큰 차이를 보인다. 이는 저장수명을 예측하거나 보관된 탄약의 분석주기를 설정할 때 단순히 평균 온도만이 아닌 해당 저장소의 온도분포도 고려하여 저장수명을 예측하는 것이 필요함을 의미한다.
2. 온도분포형태별 기대되는 저장수명은 최빈수 온도보다 상대적으로 낮은 온도의 비율이 높을수록 기대수명에 대한 영향이 커지는 것으로 보인다. 저장수명 기댓값은 관측 값과 그 값이 차지하는 비율을 곱하여 적분한 값으로, 각 값의 비율에 따라 가감되기 때문이다. 동일한 평균온도를 가지더라도 온

도분포는 지리적, 계절적 요인 등에 따라 다양한 형태를 가질 수 있어, 온도분포를 고려한 저장수명 예측이 필요할 것으로 판단된다.

3. 각 온도분포형태별 기대수명에 대해 일정 저장온도를 가정한 저장수명 환산 온도는 누적분포함수의 40 %에 해당하는 온도와 11 %이내의 편차를 가지는 것으로 확인하였다. 이는 누적분포함수를 통해 기대수명에 대한 최적의 저장 온도의 근사치를 구할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Sung-Ho Park, Jae-Hoon Kim, "A Study on the Storage Life Estimation Method for Applying Gamma Process Model to Accelerated Life Test Data", *Journal of The Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol.17, No.3, pp.30-35, Jun. 2013.
DOI : <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2013.17.3.030>
- [2] Jung-Woo Lee, Yoon-Gee Hong, "A study on the effective management of artillery ammunition using ASRP data-The case of test interval determination, shelf-life prediction, force effectiveness analysis-", *Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol.13, No.9, pp.4349-4358, Sep. 2012.
DOI : <https://doi.org/10.5762/kais.2012.13.9.4349>
- [3] Ki-Hong Cho, Eui-Yong Kim, "Life Expectancy Estimation of the Propellants KM10 Using High Temperature Acceleration Aging Tests and Stockpile Analysis Test", *Journal of Korean Chem. Eng. Res.*, Vol.48, No.6, pp.695-699, Dec. 2010.
- [4] Jong-Chan Lee, Keun-Sig Yoon, Yong-Hwa Kim, Ki-Hong Cho, "A study on the Shelf-life Prediction of the Single Base Propellants Using Accelerated Aging Test", *Journal of Korean society for Quality Management*, Vol.35, No.2, pp.45-54, 2007.
- [5] Ki-Hong Cho, "A study on the shelf-life estimation of the propellant KM10 by using high temperature acceleration aging tests", *Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol.11, No.5, pp.1735-1740, May. 2010.
DOI : <https://doi.org/10.5762/kais.2010.11.5.1735>
- [6] Sang-Bong Lee, Jung-Wha Seo, Kyeong-Su Choi, Sung-Bok Kim, "The Shelf-life Prediction of Single-Base Propellants by applying the Kinetic Model of n-th Order", *Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol.16, No.5, pp.3633-3642, May. 2015.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3633>
- [7] Ha-Gyu Bong, Keun-Sig Yoon, "The Study for the Single-based Propellant Shelf Life extension", *Journal of Applied Reliability*, Vol.5, No.3, pp.357-371, Sep.

2005.

- [8] Jun-Chang Jeong, Young-Ki Choi, Ji-Hun Lee "A Study Reliability of Long Term Storage Test of the K683 Propellant for Cartridge, 120MM, K276", *Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.1, No.1, pp.310-318, Jul. 2011.
- [9] Sung-Ho Park, Jae-Hoon Kim, "Estimation of Shelf Life for Propellant KM6 by Using Gamma Process Model", *Journal of Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol.16, No.4, pp.33-41, Aug. 2012.
DOI : <https://doi.org/10.6108/kspe.2012.16.4.033>
- [10] Il-Ho Jang, Ki-Hong Cho, "Research on the Storage Life of Single Base Propellant by Adding Inorganic Stabilizer CaCO₃", *Journal of KIMST*, Vol.10, No.3, pp.200-207, Sep. 2007.
- [11] Ki-Hong Cho, Il-Ho Jang, "A Study on the Effect of Storing Temperature upon the Shelf Life Propelling Charge K676 and K677", *Journal of KIMST*, Vol.8, No.1, pp.14-24, Mar. 2005.
- [12] Hyung-Ju Park, Myoung-Jin Choi, Jae-Ktung Yang, "A Study on the Deduction of Internal Temperature of the Ground Magazine", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol.36, No.3, pp.142-149, Sep. 2013.
DOI : <https://doi.org/10.11627/jkise.2013.36.3.142>
- [13] SB 742-1300-94-895, "Propellant and Propelling Charges Ammunition Surveillance Procedures", Headquarters, Department of the Army, pp.9-11, 1998.
- [14] Eung-Hwan Kim, Seung-Dong Kim, Hu-Jin Oh, "Reconstruction of high school textbook contents for guidance of Probability density function", *Journal of The Mathematical Education*, Vol.35, No.2, pp.117-123, Dec. 1996.
- [15] Seok-Geun Hwang, Jeong-Ho Yoon, "A Study on Teaching Continuous Probability Distribution in Terms of Mathematical Connection", *Journal of Korea Society of Educational Studies in Mathematics School Mathematics*, Vol.13, No.3, pp.423-446, Sep. 2011.
- [16] Encyclopedia of Math, Probability Density Function, Naver, Available From : <https://url.kr/v1ufrd> (accessed Mar. 03, 2021)
- [17] Sung-Yeoul Park, *On the Mathematical Expectation*, Master's thesis, Dankook University's Graduate School of Education, Seoul, Korea, pp.8-10, 1998.
- [18] Keun-Sig Yoon, Young-Seak Lee, "Propellant Shelf-life Extension by Surface-modified Activated Carbon Fiber", *Korean Chem. Eng. Res*, Vol.49, No.4, pp.443-448, Aug. 2011.
DOI : <https://doi.org/10.9713/kcer.2011.49.4.443>

안 대 희(Dae-Hee An)

[정회원]



- 2019년 2월 : 창원대학교 산업시스템공학과 (학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

품질, 신뢰성

노 예 은(Ye-Eun Noh)

[정회원]



- 2014년 8월 : 국립경상대학교 생명화학공학과 (학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

품질, 화학, 화공

윤 주 현 (Ju-Hyun Yoon)

[정회원]



- 2018년 2월 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

품질경영, 전기전자

이 상 봉(Sang-Bong Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 한양대학교 기계공학
학과 (학사)
- 2011년 2월 : 동대학원 기계공학
과 (석사)
- 2011년 1월 ~ 2014년 7월 : LG
전자 연구원
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 선임연구원

〈관심분야〉

소재, 기계, 화공