

22mm 측사탄 포장 부풀음 원인분석 및 저장수명 향상 연구

백진욱
국방기술품질원 유도탄약센터

Cause analysis of inflation of 22mm sub-caliber cartridge packing and improvement of shelf life

Jin-Wook Baek
PGM & Ammunition Center, Defence Agency for Technology and Quality

요약 박격포탄은 강한 파괴력을 가지고 있어 훈련용으로 사용하기엔 큰 위험성과 어려움을 갖고 있다. 따라서 제한된 공간속에서 실제와 유사한 훈련 효과를 거두기 위해 폭약을 제거하고 연막제를 장입한 훈련용 탄약인 측사탄을 운영하고 있다. 해당 탄약은 방습 및 부식 방지 등을 위하여 내부포장을 보호방수주머니를 이용한 진공상태로 유지중에 있으나, 최근 군에서 보관중인 4.2인치 박격포용 22mm 측사탄 다수에서 보호방수주머니가 부풀어 오르는 현상이 발생되었다. 성분 분석결과 수소가스가 검출되었고, 부풀어오름의 원인은 연막제의 마그네슘과 수분의 화학반응으로 판단하였다. 연막제의 마그네슘과 화학반응을 일으킬 수 있는 수분 발생시키는 요인에 대해 검토한 결과, 주된 수분 발생원은 내부 포장재로 확인되었고 이를 개선하기 위하여 보관 장소의 변경으로 온도를 조절하여 화학 반응속도를 조절하는 방안을 제시하였다. 마지막으로 이글루형 탄약고와 지상형 탄약고의 저장수명을 비교하기 위해 아레니우스 방정식을 활용하여 예측하였다. 아레니우스 방정식은 화학 반응속도와 온도 간의 관계를 나타내는 방정식으로, 저장공간의 온도에 따른 안정성을 예측할 수 있다. 그 결과 이글루형 탄약고의 저장수명은 약 21년(7721일)로, 이는 지상형 탄약고보다 1.5배 개선된 결과를 나타낸다. 본 논문에서 제시된 품질개선 방안이 해당 탄약뿐만 아니라 마그네슘 성분이 포함된 모든 탄약의 안정성 및 저장성 향상에 활용되기를 기대한다.

Abstract Mortar ammunition has strong destructive power, making it dangerous and challenging to use for training purposes. Therefore, to achieve realistic training effects within limited resources, training ammunition called "Sub-caliber" has been implemented by removing the explosives and incorporating smoke agents. This ammunition is maintained under vacuum-sealed conditions using protective waterproof barrier bags to prevent moisture and corrosion. On the other hand, an issue arose where barrier bags of several 22mm sub-caliber cartridges for the 4.2-inch mortar stored by the military experienced inflation. Compositional analysis detected hydrogen gas, and the cause of inflation was attributed to a chemical reaction between the magnesium in the smoke agents and moisture. After identifying the factors that can generate moisture, which can induce a chemical reaction with the magnesium in the smoke agents, the internal packaging material was found to be the primary source of moisture. This issue was addressed by controlling the chemical reaction rate through temperature regulation by changing the storage location. Finally, the Arrhenius equation was used to predict and compare the shelf life of an igloo magazine and an above-ground magazine. The Arrhenius equation describes the relationship between the rate of a chemical reaction and temperature. It can be used to predict the stability at different storage temperatures. As a result, the estimated shelf life of an igloo magazine is approximately 21 years (7721 days), representing a 1.5-fold improvement compared to the above-ground magazine. The quality improvement measures presented in the paper are expected to enhance the stability and storage performance of the abovementioned ammunition and all ammunition containing magnesium components.

Keywords : Sub-caliber, Waterproof Barrier Bag, Inflation, Magnesium, Storage Location

*Corresponding Author : Jin-Wook Baek(Defense Agency for Technology and Quality)

email: sd97235@dtqa.re.kr

Received October 31, 2023

Accepted January 5, 2024

Revised December 4, 2023

Published January 31, 2024

1. 서론

박격포는 오래 전부터 지속적으로 운영되고 있는 무기이지만 강력한 화력으로 인하여 여전히 보병간의 전투에서는 가장 효과적인 무기 중 하나로 손꼽힌다. 하지만 그 강한 파괴력으로 인해 훈련용으로 사용하기엔 큰 위험성과 어려움을 갖고 있다. 따라서 군에서는 안전사고를 줄이면서 제한된 공간에서 실제와 유사한 훈련 효과를 거두기 위해 폭약을 제거하고 연막제를 장입한 축사탄을 운영하고 있다.

축사탄은 외부의 충격, 흡습으로 인한 성능저하 등을 방지하기 위하여 50발을 단위로 내부포장(골판지) 상자에 담은 뒤, 내부포장 상자를 보호 방수주머니에 넣고 열봉인한 후, 목상자에 넣는 방식으로 포장된다. 하지만 최근 군에서 보유중인 축사탄 2개 로트에서 외부포장인 목상자가 파괴되고 진공포장을 위한 보호 방수주머니가 Fig. 1에서 보는 바와 같이 부풀어 오르는 현상이 발생되었다. 이는 포장 3대기능인 보호성(Protection function), 편리성(Convenient function), 촉진성(Commercial function) 중 군수품 특성상 가장 중요한 보호성을 상실한 경우로 내부 충전물의 변형으로 성능이 미발현되거나 외부 충격에 대한 노출로 안전사고까지 이어질 수 있다. 특히, 마그네슘 분말은 물과의 접촉으로 화재 및 폭발을 일으킬 수 있는 금속성 물질로 탄약고에 다중으로 적재되어 있는 탄약이 외부포장 파손으로 낙하할 경우 큰 화재와 폭발로 변질 수 있는 위험성을 갖고 있다. 실제로, 16년 4명의 사상자가 나온 밀양 마그네슘 공장 화재, 17년 김해시 고철 야적장 마그네슘 화재 등 마그네슘 관련 화재 사고가 지속적으로 발생함에 따라 안전대책 마련에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[1,2].

따라서 본 연구에서는 공장뿐만 아니라 탄약고에서도 금속성 물질 화재로 이어질 수 있는 보호 방수주머니 부풀음 현상에 대한 원인을 분석하고 재발 방지를 위한 대책을 마련하였다. 부풀어 오른 보호 방수주머니의 기체 성분분석을 통하여 부풀음을 발생시킨 가스의 성분을 확인하였고, 이를 통해, 주된 요인인 보관환경과 포장 내부 수분량을 조절함으로써 부풀음 발생을 최소화하고자 하였다.

또한, 온도에 따른 화학 반응속도를 추측하기 위해 기존 Ko가 실험을 통해 얻어낸 마그네슘의 활성화 에너지를 이용한 아레니우스 방정식을 사용하였다[3]. 이를 통해 도출된 온도 의존성을 다른 조건에 보관중인 동일 로트 제품의 결합 여부의 파악을 통해 타당성을 검증하였다.



Fig. 1. Barrier bag

2. 본론

2.1 사용자 불만 내용

2.1.1 배경

축사탄은 박격포의 훈련을 위한 탄으로 실제 폭약을 제거하고 연막제를 장입하여 박격포탄 대신 훈련효과를 만들어내는 탄약으로 본 연구대상이 되는 4.2인치 박격포용 축사탄의 형상 및 연막제의 조성을 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다.

해당 탄약은 흔들림, 충격 및 흡습 등을 방지하기 위하여 50발의 탄을 칸막이로 분리하고 내부포장 상자로 포장한 후, 내부포장 상자를 보호 방수주머니에 넣고 열봉인한다. 그리고 마지막으로 목상자에 넣고 밴딩 후 급속봉인하는 방식으로 포장이 이루어진다.

하지만 최근, 2008년 납품된 2개의 로트에서 보호 방수주머니가 부풀어오르고 이로 인해 목상자가 벌어지는 문제가 발생하였다.

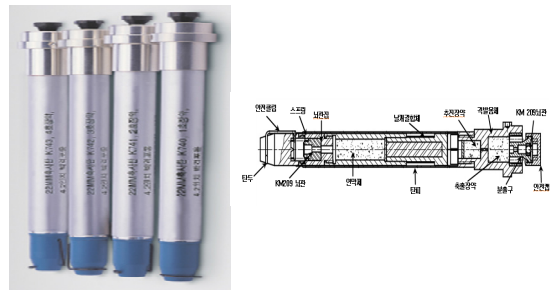


Fig. 2. 22mm sub-caliber cartridge

Table 1. Smoke agent components and proportion

	PbO ₂	Mg-Al (65:35)	Mg	KClO ₄
Percentage(%)	50	15	15	20

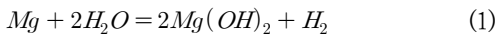
2.1.2 마그네슘 분말의 특성

마그네슘 분말은 연소 시에 많은 빛을 생성하며 빛과 열을 위해 가장 빈번하게 사용되는 화공품의 주요 연소 성분으로 대부분 조명 및 추적제(tracer)에서 선호하는 연료이다[4].

알루미늄(Al)보다 높은 반응성을 가지며, 상온의 물과 천천히 반응하며 수소를 발생시킨다.

2.1.3 원인분석

원인분석을 위해 22년 7월 19일부터 7월 28일까지 한국화학융합시험연구원에서 부풀어오른 보호 방수주머니 내부의 기체 성분 분석을 실시하였다. 성분 분석은 부풀어오른 보호 방수주머니 내부 기체를 테들러 백(tedlar bag)으로 3L 포집 후 분석을 실시하였다. 분석결과 19.25cmol/mol 의 수소(H₂)가 검출된 것으로 보아 보호 방수주머니의 부풀음은 내부의 화학적 변화로 생성된 수소 기체에 의한 것으로 판단되었다. 내부성분과 유사 사례를 검토하였을 때, 금속연료와 물의 산화반응 결과 물로 생성된 것으로 추측할 수 있었다. 축사탄 성분 중 금속연료에는 마그네슘(Mg)과 알루미늄(Al)이 포함되어 있다. 하지만 알루미늄의 경우에는 반응성이 낮아 물과는 반응이 거의 일어나지 않으므로 수소는 알루미늄보다 반응성이 높은 마그네슘과 물의 Eq. (1)과 같은 반응으로 인한 생성물로 판단할 수 있다.



축사탄 1발 당 연막제 약량은 15g이고 Table 1의 연막 조성을 고려하였을 때, Eq. (2)와 같은 계산을 따라 축사탄 1발의 마그네슘의 중량은 3.7125g이며, 내부포장상자 1개당 50개의 축사탄이 포장되므로 내부포장상자 내 마그네슘 총 중량은 185.625g 임을 알 수 있다.

$$(0.65 \times 0.15 + 0.15) \times 15 = 3.7125 \quad (2)$$

보호 방수주머니 내 수분발생에는 다양한 요인이 있다. 축사탄 내 연막제와 추진제의 수분함량, 내부포장상자의 수분함량, 흡습제(실리카겔)의 수분흡습이 보호 방수주머니 내 수분량을 결정한다. 방수주머니 내 수분량은 Table 2와 같다.

내부 포장상자의 총 중량은 내부포장상자와 칸막이, 추진제, 사각받침을 모두 포함한다. 방수주머니 내 5g 크기의 실리카겔 2개가 포함되지만 실리카겔은 온도 습도에 따라 14~27%의 흡습도를 가지므로[5] 1.4g~2.7g의 수분 흡습은 미비한 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

Table 2. Water content in barrier bag

	Total weight (g)	Water content (%)	amount of water(g)	Rate(%)
Smoke agent	750g (15g×50EA)	0.3%	2.25g	2%
Propellant	70g (1.4g×50EA)	0.3%	0.21g	0.002%
Barrier bag	2,152g	5%	107.6g	97.78%

마그네슘 185.625g과 반응 할 수 있는 수분은 278.4375g으로 전체 수분량과 실리카겔에 의한 흡습을 고려할 때 전체 수분량은 약 109.85g으로 추정되며, 100% 반응하였다고 가정하였을 때, 74.59L의 수소가스가 발생한다.

2.1.4 환경적 요인

방수 포장주머니의 부풀음에 대한 원인을 기체분석을 통해 내부 화학적 변화로 생성된 수소로 확인되었고, 축사탄 성분의 반응성 비교를 통해 마그네슘과 수분의 반응을 주원인으로 판단하였다.

화학적 변화에 기인한 현상이므로 보관상태에 따른 영향을 크게 받을 수 있다. 부풀음이 발생한 축사탄의 경우 이그루형, 지상형 두가지의 탄약고 형태를 통해 탄약을 보관하고 있다.

하절기의 경우 지상형 탄약고는 대기 온도 변화와 유사한 패턴으로 온도변화가 일어나며 이그루형 탄약고는 외부의 온도보다 약 10℃ 정도 낮게 유지된다[6].

3. 개선 방안

3.1 화학 반응속도에 영향을 주는 인자[3]

화학 반응속도는 반응물의 분자들 사이의 초당 유효충돌횟수에 비례하며 유효충돌수가 많다는 것은 생성물의 분자를 더욱 빠르게 만들 수 있다. 따라서, 유효충돌수를 증가시키거나 감소시킬 수 있는 요인이 화학 반응속도에 영향을 주는 중요한 인자이다.

유효충돌수에 변화를 줄 수 있는 인자로 압력, 반응물의 농도, 온도, 촉매, 표면적이 있다. 특히, 온도가 상승하게 되면 반응 분자들의 평균 분자 운동에너지가 증가하여 반응 분자들의 속력이 빨라져 반응속도가 상승하게 된다.

3.2 아레니우스 방정식[3]

사고가 발생한 탄약은 같은 로트로 동일한 비율의 성분으로 이루어져 있으며, 보호 방수주머니가 진공포장되어있으므로 농도, 기압, 습도는 제품별로 유사하게 유지된다. 따라서, 보관 장소에 따라 가장 크게 변할 수 있는 온도차이에 의한 화학 반응속도의 온도 의존성을 알아보기 위해 다음 Eq. (3)의 아레니우스 방정식을 사용하였다.

$$k = A \exp^{-E_a/RT} \quad (3)$$

여기서, A는 반응에 대한 잣음률(frequency factor)이며, $\exp^{-E_a/RT}$ 는 반응을 일으킴에 있어서 필요한 에너지를 가진 충돌 분율을 의미하고 E_a 는 화학 반응을 진행하기 위해 반드시 극복해야 하는 최소 에너지로 활성화 에너지를 나타낸다.

하절기 대기의 온도와 유사하게 유지되는 지상형 탄약고와 대기의 온도보다 약 10℃ 낮게 유지되는 이그루형 탄약고의 조건으로 해당 식을 적용하면 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 3. Arrhenius equation result

Temperature (°C)	Grond magazine(a)	Igloo magazine(b)	$A_f(a \div b)$
26	(7.30898E-06) A_0	(4.8544E-06) A_0	1.505640277
27	(7.60286E-06) A_0	(5.0636E-06) A_0	1.501474742
28	(7.90649E-06) A_0	(5.28028E-06) A_0	1.49736272
29	(8.22012E-06) A_0	(5.50465E-06) A_0	1.493303271
30	(8.54399E-06) A_0	(5.73693E-06) A_0	1.489295476
31	(8.87836E-06) A_0	(5.97733E-06) A_0	1.485338436
32	(9.22349E-06) A_0	(6.22607E-06) A_0	1.481431272
33	(9.57966E-06) A_0	(6.48337E-06) A_0	1.477573124
34	(9.94712E-06) A_0	(6.74947E-06) A_0	1.473763152
35	(1.03262E-05) A_0	(7.02459E-06) A_0	1.470000532
36	(1.0717E-05) A_0	(7.30898E-06) A_0	1.466284461
37	(1.11201E-05) A_0	(7.60286E-06) A_0	1.46261415

또한, 온도 의존성 비교를 위해 가속계수 A_f 를 구하기 위해 Eq. (4)를 활용하였다[7].

$$A_f = \frac{A_0 \exp^{-E_a/RT_a}}{A_0 \exp^{-E_a/RT_b}} = e^{\left(\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_b}\right)\right)} \quad (4)$$

Eq. (4)를 이용해 도출해낸 가속계수 A_f 를 확인한 결과 하절기에 지상형 탄약고는 이그루형보다 약 1.5배 빠

른 화학 반응속도를 나타냄을 알 수 있었다. 해당 사항을 확인하기 위하여 지상형 탄약고와 이그루형 탄약고에 보관된 동일한 로트의 축사탄의 상태를 확인하였다.



Fig. 3. Wooden Boxes in Above ground magazine and Igloo magazine

Fig. 3와 같이 지상형 탄약고에 보관된 축사탄은 온도로 인한 화학 반응속도의 증가로 납품일로부터 보관 약 14년(5147일) 만에 부풀음이 발생하여 목상자 파손이 일어난 모습을 볼 수 있고, 이그루형 탄약고는 부풀음이 아직 발생하지 않았으며, 가속계수 A_f 를 적용하였을 때, 약 21년(7721일)으로 증가된 수명을 도출할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 22mm 축사탄의 내부 방수주머니 부풀음의 원인을 분석하고 품질을 개선하기 위해 다음과 같은 연구결과를 제시하였다.

첫째, 22mm 축사탄은 마그네슘 분말을 포함한 화공품이 사용된 탄약으로서, 주로 내부포장상자에 포함된 수분과 마그네슘의 화학반응으로 생성된 수소로 인한 부풀음이라는 것을 확인하였다.

둘째, 해당 탄약의 저장수명을 향상시키기 위해 저장 환경의 온도차이에 따른 화학 반응 속도를 아레니우스 방정식을 통하여 비교함으로써 이그루 탄약고에서 보관 중인 탄약의 보호 방수주머니가 지상형 탄약고보다 긴 저장수명을 가지는 것이 온도차이에 기인한 것임을 도출하였다.

셋째, 아레니우스 방정식을 통하여 도출된 온도 의존성을 사용하여 가속계수 A_f 를 구하였고, 현재 부풀음이 발생한 지상형 탄약고에서의 저장 수명과 가속계수 A_f 를 사용하여 이그루형 탄약고에서의 약 1.5배 증가된 저장수명을 도출함으로써 보관장소에 따라 저장수명을 향

상시킬 수 있음을 제시하였다.

결론적으로, 22mm 축사탄 보관 시 이그루형 탄약고 가 지상형 탄약고보다 약 1.5배 높은 저장 수명을 기대할 수 있다는 것을 이론적으로 도출해 내었고, 향후 마그네슘 분말을 포함한 유사 탄종의 경우에도 활용되어 안정성 및 저장성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

하지만, 아레니우스 방정식은 화학 반응 속도와 온도 간의 상관관계로 온도만을 고려한 단일변수, 실제로 일어나는 복잡한 화학반응을 반영하지 못하는 점 등 다양한 영향 요인을 고려해야 하는 상황에서 한계가 존재한다. 따라서, 이그루 탄약고에 보관중인 탄약의 보호 방수주머니의 부풀음을 지속 관찰하면서 본 연구에서 도출해낸 이그루 탄약고에서의 수명과 실제 부풀음이 발생한 보관수명과의 비교를 통해 온도와 저장수명과의 상관관계를 증명하고, 오차 발생 시에는 원인 분석을 위한 기압, 습도와 같은 화학 반응속도에 영향을 주는 인자에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

"Research on the Decrease of Dud Ammunition Rate of 40mm Grenade(K200) Fuze through Quality Improvement" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 17, 6, 700-707, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.6.700>

백진욱(Jin-Wook Baek)

[정회원]



- 2017년 2월 : 공군사관학교 항공 우주공학과 (공학사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 유도탄약센터 연구원

<관심분야>

품질, 무기체계, 기계공학

References

- [1] E. P. Lee, "Analysis of the Problems and Safety Measures of Magnesium Fires", *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 20, 2, pp.79-87, 2020. <http://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.2.79>
- [2] H. R. Shin, Jun-Sik Lee, Ji-Hyeon Park, Jin-Ju Chae, "A Study on the improvement of Fire Safety Management through Case Analysis of Magnesium Fires", *KAIS Spring Conference*, Korea Academia-Industrial cooperation Society, 22(1), Korea, pp.13-16, July 2021.
- [3] M. H. KO, *A Study on the Reaction Characteristics of Magnesium Powder to Water by the Sample Amount and Temperature*, Master's thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea, pp.3-4.
- [4] H. Yun, S. B. Ryu, The Handbook of ammunition (Pyrotechnic formulations), Technical Report, Defense Agency for Technology and Quality, Korea, pp.1-94.
- [5] S. J. Chang, S. G. Yu, S. M. Kim. "Moisture absorption and emission performance evaluation of the silicagel for application to the functional building materials.", *Autumn Annual Conference of AIK*, The Architectural Institute of Korea, 34(2), Korea, pp.337-338, October 2014.
- [6] J. S. Jeong, T. M. Kwon, M. K. Ahn, W. Y. Hwang, A Study on the Architectural Standards Establishment of Ammunition Storage Condensation, Technical Report, Defense Agency for Technology and Quality, Korea, pp.1-132.
- [7] J. C. Ju, Y. H. Kim, N. S. Ahn, S. M. Kim, S. R. Ha.