

자연 노화된 니트로셀룰로오스의 수명에 관한 연구

김동성*, 진홍식
국방기술품질원 국방신뢰성연구센터

A Study of Life about Naturally Aged Nitrocellulose by Storage

Dong-seong Kim*, Hong-Sik Jin
Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

요 약 10년 이상 보관된 니트로셀룰로오스 (Nitrocellulose, 니트로셀룰로오스) 재료의 화약용기 안전 검사를 진행하는 과정 중 화약이 보관되어진 용기에 균열이 발생한 것을 확인하여 고장 원인 분석 시험을 실시하였다. 고장이 발생한 데에 영향을 준 요인을 선별하기 위해 먼저 고장수목분석(Fault Tree Analysis, FTA)을 통해 고장 요인 및 원인에 대해 탐구하였으며, 보관 시 발생할 수 있는 내·외부적인 요인 및 환경에 대한 영향성을 확인한 결과 열에 의해 화학 반응이 가속화되어 발생한 화약용기의 물성 변화가 고장의 원인인 것으로 추정하였다. 이를 확인하기 위해 자연 노화된 화약용기를 이용하여 열충격시험, 양립성 시험 등의 환경시험을 수행하여 고장의 원인 분석을 수행하였으며, 가속노화시험을 통해 고장 재현 시험을 실시하였다. 이를 통해 앞선 고장수목분석 결과와 같이 열과 화약에 의해 화학 반응이 가속화되는 것을 확인할 수 있었으며, 화약용기의 물성이 변화하는 것을 확인하였다. 또한, 열 노화에 의한 수명 추정을 위해 아레니우스 모델(Arrhenius Model)을 이용하여 화약용기의 사용 수명을 추정하였다.

Abstract During the safety inspection of nitrocellulose-made explosive containers stored for more than 10 years, cracks were found in the containers. Therefore, a failure cause analysis test was performed. First, the cause of failure through the failure tree analysis was conducted to select the factors that influenced failure. The changes in the properties of the container caused by the acceleration of the reaction were found to be the cause of the failure by confirming the influence on the environment and internal/external factors that may occur during storage. To confirm this, environmental tests, such as thermal shock test and vacuum thermal stability test, were performed using a naturally aged container to analyze the cause of failure, and an accelerated aging test was performed to reproduce the failure. Through this, the chemical reaction was accelerated by heat and charge, as in the result of the fault tree analysis, and it was confirmed that the physical properties of the container were changed. In addition, the service life of the container was estimated using the Arrhenius model for the storage life due to thermal aging.

Keywords : Nitrocellulose, Aging, Life Prediction, Accelerated Aging Test, Environmental Test, Vacuum Thermal Stability Test, Arrhenius Model

*Corresponding Author : Dong-seong Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: kds21104@daq.re.kr

Received September 7, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised October 7, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

니트로셀룰로오스는 질산에스테르 화합물로서 면화약, 플래쉬 페이퍼 등으로 불리는 셀룰로오스의 중합체이다. 니트로셀룰로오스는 셀룰로오스의 히드록시기(-OH)에서 H가 질산화물로 치환된 형태이며, 치환된 형태가 많이 존재할수록 폭발력이 커지는 특징을 가지고 있다. 이 때문에 다이내마이트나 무연화약과 같이 폭약 또는 화약으로 사용되거나 로켓의 추진제로 사용되기도 한다. 또한, 치환이 덜 된 니트로셀룰로오스의 경우에는 플라스틱, 잉크, 필름 등으로 사용되기도 한다.

국방 분야에서는 주로 일반탄약에 사용되는데 니트로셀룰로오스에 안정제인 DPA(Diphenylamine)를 첨가하여 제조하는 단기 추진제나 NG(Nitroglycerine)를 혼합한 후 안정제인 EC(Ethylcentralite)를 첨가하여 로켓 추진제와 고폭탄두 등에 사용하고 있다. 또한, 연소가 잘 되는 특징을 활용해 추진기관의 노즐 마개 등의 1회성 부품에도 많이 사용되기도 한다.

기존에 니트로셀룰로오스의 수명에 대한 연구는 다양한 방법으로 연구되어져 왔다. Mario (2012)는 니트로셀룰로오스 물질의 저온, 고온, 저장환경(고온-저온 반복)에서의 열 / 자연분해 현상이 발생하였을 때의 수명 예측에 대한 연구를 수행하였다[1]. 이를 위해 온도 구간에 따른 니트로셀룰로오스 재질의 분해 현상에 대해 정의하였으며, 각 온도구간에서의 분해현상을 모델링하였다. 또한, 각 구간에서의 분해가 가속화되는 온도와 시간에 대해 정의하여 해당 구간을 포함한 분해현상에 대한 연구를 통해 온도 및 저장환경에 따른 수명 예측 모델을 수립하였다.

수립된 모델을 토대로 저장환경에서의 수명을 예측하기 위해 세계 주요 도시의 평균 온도 분포를 조사하여 연간 평균온도를 설정하였으며, 이를 기반으로 각 지방별 니트로셀룰로오스 재질의 사용 수명을 예측하였다. 국내의 경우 여수, 부산을 기준으로 약 20년 이상 사용이 가능한 것으로 예측되었다.

Ruichao (2018)은 니트로셀룰로오스에 대해 열 물성 분석 및 가속노화시험을 통한 수명 예측 연구를 수행하였다[2]. Ruichao는 90 °C에서 니트로셀룰로오스를 가속노화시험을 수행하였으며, 0, 16, 32, 64일에 불출하여 DSC(Differential Scanning Calorimeter), TGA(Thermo-gravimetric Analysis)를 통해 니트로셀룰로오스의 활성화 에너지, 질량 변화, 분해온도 등의 물리적, 화학적 특성 변화를 관찰하였다. 또한, SEM

(Scanning Electron Microscope)을 통해 니트로셀룰로오스의 구조 변화를 관찰하여 분자 단위의 물리적 변화를 확인하였다. 그 결과 활성화 에너지가 80.2 ~ 259.9 kJ/mol로 계산되었으며, 약 24일 이후 분해가 일어나는 것을 확인하였다. 이를 통해 수명을 보수적으로 추정된 결과 35년 이상이였다.

그러나 본 연구에서 대상으로 하는 니트로셀룰로오스 재질의 화약용기는 보관 기간이 15년 이하임에도 불구하고 Mario의 연구처럼 갈색으로 변하거나 재질의 경도가 증가하며, 균열이 발생하는 것을 확인하였다. 이는 기존의 신규 제작된 NC를 활용한 연구결과와 실제 화약용기의 수명이 상이하기 때문에 실제 노화된 화약용기로 수명 단축 원인을 찾기 위한 시험을 수행하였다. 먼저 고장을 유발한 원인을 찾기 위해 fault tree 분석을 수행하여 고장 원인에 대해 탐구하였으며, 이를 바탕으로 열충격시험, 양립성시험 등의 환경시험을 통해서 수명이 감소한 원인을 분석하였으며, 가속노화시험 등을 통한 고장의 재현 및 수명의 예측, 입증에 대한 연구도 수행하였다.

Table 1. Comparison to previous study

	Content
Mario (2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Sample : New manufactured - Instruments : Stability tester - Purpose <ol style="list-style-type: none"> 1) Observe the thermal decomposition in thermal cycle test 2) Construct the life prediction model by temperature environmental 3) Storage time prediction following location and year average temperature
Ruichao (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Sample : New manufactured - Instruments : DSC, TGA, SEM - Purpose <ol style="list-style-type: none"> 1) Observe the change about physical / chemical properties by accelerated aging test (ex. mass, activation energy) 2) Confirm the thermal aging mechanism of NC 3) Verification of Model using calculate the thermal properties (ex. Ozawa, Kissinger method)
This study	<ul style="list-style-type: none"> - Sample : naturally aged (over 10 years) - Instruments : DSC, Stability tester, Thermal shock tester, etc. - Purpose <ol style="list-style-type: none"> 1) Find the cause of failure (crack) 2) Observe the change about physical / chemical properties (ex. hardness, transition temperature) 3) Prediction of life to use

2. 고장 현상 고찰

본 연구의 대상인 니트로셀룰로오스 재질의 화약용기는 추진기관에 점화 에너지를 전달하는 화약을 보관하기 위해 사용되어지는 부품이다. 평소에는 화약을 보관하고 있다가 점화 신호가 인가되면 파괴 / 연소되면서 내부로 에너지를 전달하는데, 이때 화약용기의 파편이 남아있는 경우 추진기관의 노즐을 막거나 추진제의 균열을 일으키는 등의 고장을 유발할 수 있기 때문에 연소가 잘되는 니트로셀룰로오스 같은 재질의 용기를 사용하기도 한다.

본 연구에서는 10년 이상 보관된 화약용기의 안전성 확인을 위해 분해 검사를 진행하는 도중 Fig. 1-(b)과 같은 고장 현상이 발견되었다. 초기 생산된 화약용기 경우 일반적으로 Fig. 1-(a)와 같이 흰색을 띠고 있으며, 연성이 있는 형태이다. 그러나 10년 이상 지난 화약용기의 경우 Fig. 1-(b)와 같이 균열이 발생하였으며, 색상 또한 갈색으로 변화한 것이 확인되었다. 이러한 물성 변화의 원인을 확인하기 위해 Fig. 2와 같은 절차로 연구를 수행하였다.

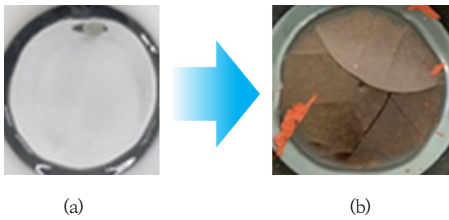


Fig. 1. Container failure (Crack)

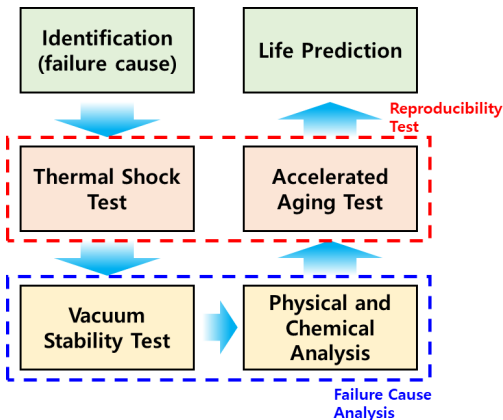


Fig. 2. Procedure of study

3. 고장 원인 분석

3.1 고장 원인 분석을 위한 고장 인자 분석

용기에 균열이 발생한 원인을 분석하기 위해 가장 먼저 고장을 유발시킬 수 있는 인자를 확인하고자 하였다. 이를 위해 Fig. 3과 같이 fault tree를 작성하였다. Fault tree를 통해 영향을 줄 수 있는 인자를 선별한 결과 여러 가지 요인 중 화약과 용기의 상호작용, 자연분해, 저장기간 중 온도변화에 따른 열충격으로 인한 노화가 고장 유발 인자로 선정되었다.

선정된 4가지 요인 중 진동 / 충격의 경우 수송용기 내에서 진동 / 충격 등의 요인에서 보호될 수 있게 보관되어지기 때문에 해당 요인은 영향을 주지 않았을 것으로 추정된다. 또한, 내부적인 요인(소재 불량, 에폭시 불량 등)의 경우 공정 중에 품질관리 과정에서 모두 확인하기 때문에 고장 인자에서 제외하였다. 이와 같이 저장 및 생산 중의 내·외부적인 요인을 고려한 결과, 온도에 의한 변화가 가장 큰 원인으로 추정되었다.

3.2 열충격시험

첫 번째로 저장기간 중 온도변화 의한 영향을 확인하고자 열충격시험을 수행하였다. 이를 위해 기존 10년 이상 보관된 시료 중 균열이 없는 화약용기 2개와 새로 제작한 화약용기(화약 충전 X) 5개를 이용하여 시험을 수행하였다.

열충격시험은 시험 시료가 저온(-40 °C)과 고온(60 °C) 챔버 사이를 매우 빠르게 움직이며 온도가 급변하는 상황(1분 이내 이동)에서의 변화를 살펴보는 것이다[3]. 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 저온(-40 °C)에서 8시간, 고온(60 °C)에서 4시간동안 유지하였으며, 총 7주기를 시험하였다.

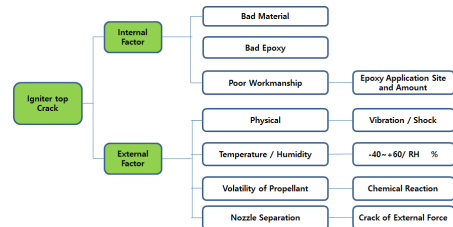


Fig. 3. Fault Tree Analysis about Failure

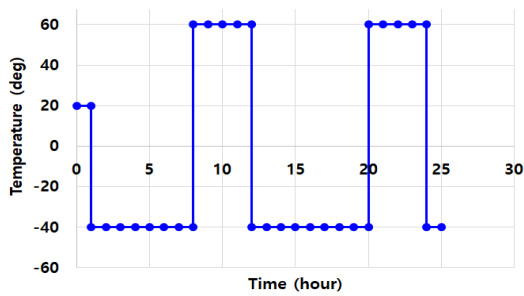


Fig. 4. Thermal Cycle of Environmental Test



Fig. 5. Thermal Shock Test sample



Fig. 6. Thermal Shock Test Result

열충격시험 결과 10년 이상 보관된 화약용기의 경우 1조의 시료가 앞선 고장과 동일하게 균열이 발생하였으며, 다른 1조의 경우 화약용기의 마개가 부풀어 오른 것을 확인할 수 있었다. 그러나 새로 제작된 시료 5개의 경우 특이한 사항이 발견되지 않았으며, 색변화 또는 부풀어 오르는 현상이 발생하지 않았다.

이러한 결과가 실제 저장 보관된 기간(자연 노화 시료의 경우 10년 이상)의 차이로 인하여 발생할 수 있다고 생각되어 신규 제작된 화약용기에 대해 42주기(약 42일)까지 시험을 추가로 실시하였으나, 고장이 전혀 발생하지 않는 것을 확인하였다.

열충격시험 결과로 판단해보면 온도에 의한 영향이 분명히 존재하지만, 단순히 온도에 의한 것이 아닌 내부에 있는 화약과의 상호작용에 의해 고장이 발생하는 것으로 추정된다. 또한, 열충격시험 시 상호작용이 가속화되어 화약이 들어있는 2조의 시료 중 1조가 고장이 발생한 것

으로 생각된다. 즉, 화약용기의 재질인 니트로셀룰로오스와 내부에 보관된 화약 간의 상호작용으로 인해 화약용기의 물성 변화가 발생하였을 것이라고 판단된다. 이러한 이유로 용기와 화약간의 상호작용을 알아보기 위해 양립성 시험(VTS, Vacuum Thermal Stability)을 실시하였다.

3.3 양립성시험

양립성 시험은 진공 상태에서 물질이 열에 의해 분해되는 정도를 측정하여 시험하고자 하는 두 물질이 서로 양립할 수 있는지 평가하는 시험이다. 양립성 시험을 위해 OZM 社の STABIL IV 장비를 이용하여 48시간동안 진공에서 화약, 화약용기(Container), 에폭시 각각의 자연 분해 정도 및 분해 시 발생하는 가스의 부피를 측정하였으며, 화약과 용기가 같이 있는 경우의 분해정도도 같이 측정하였다. 화약과 용기가 같이 있는 경우에는 무게비가 1:1이 되도록 시료를 준비하였으며, 측정 결과는 Table 2와 같다.

Table 2의 결과를 살펴보면 단일구성품의 경우 화약용기 본체(Container)가 단위 질량당 가스 발생량이 가장 높은 것을 확인할 수 있다. 또한, 화약과 화약용기가 같이 존재하는 경우 화약용기의 자연분해로 인한 가스 발생량과 거의 동일한 양의 가스가 추가로 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 종합적으로 살펴볼 때 화약과 니트로셀룰로오스 화약용기 간의 미지의 반응이 발생하고 있는 것으로 판단되며, 이러한 상호작용을 통해 화약용기의 분해 현상이 가속화되었기 때문에 기존의 연구된 사례보다 2배 정도 짧은 보관 기간 내에 균열이 발생하였을 것으로 판단된다.

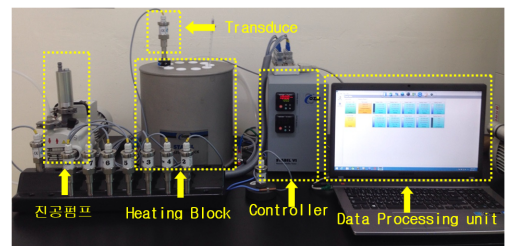


Fig. 7. Vacuum Thermal Stability Tester

Table 2. VTS test result

Sample	Gas / mass [ml/g]
Charge	0.29
Container	0.92
Epoxy	0.17
Container - Charge	0.66

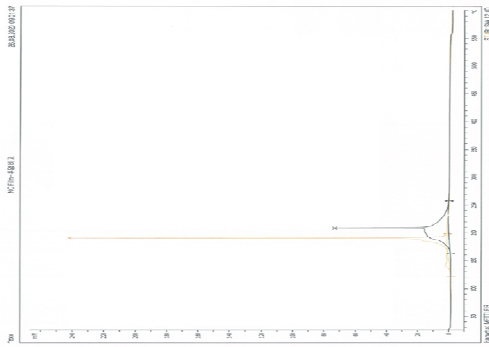


Fig. 8. DSC test results

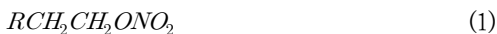
3.4 이화학 성분 분석

10년 이상 보관된 화약용기의 물성 변화를 확인하여 노화가 발생한 증거를 찾기 위해서 추가로 Mettler Toledo 社의 DSC(Differential Scanning Calorimetry), FT-IR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy), Bruker 社의 NMR(Nuclear Magnetic Resonance) 등을 이용하여 노화 반응이 일어났는지 확인하였다. 비교를 위해 신규 제작된 화약용기 시료를 동일한 방법으로 분석하였다. 또한, Shore A 경도계를 통해 물리적 물성 변화를 확인하였다.

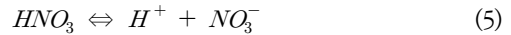
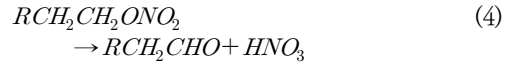
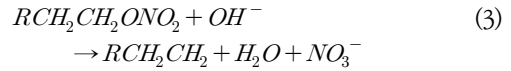
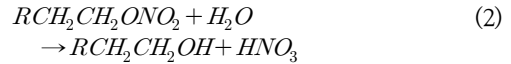
시험 결과 FT-IR, NMR에서는 특별한 변화가 관찰되지 않았으나 DSC에서는 상변화 온도가 감소한 것을 확인하였으며, (약 10% 감소) 경도가 약간 증가한 것으로 나타났다. (약 5% 증가) 이를 바탕으로 볼 때 화약용기 자체적으로도 자연분해나 노화가 발생하여 물성이 변화한 것으로 판단되며, 이로 인해 화약용기가 Brittle하게 변화하였다고 추정된다.

3.5 원인 분석

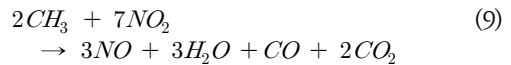
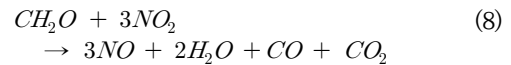
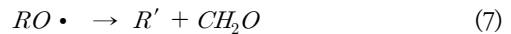
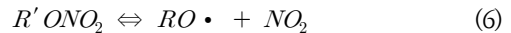
앞선 시험 결과들을 종합하여 화약용기의 고장 원인을 분석하였다. 화약용기는 니트로셀룰로오스를 주성분으로 하는 셀룰로이드이므로 식 (1)과 같이 구성되어 있다.



식 (1)의 니트로셀룰로오스는 시간이 지남에 따라 상대적으로 약한 -O-NO2 결합이 끊어져 식 (2) ~ (4)와 같이 NOx, 알데히드, 알코올 등을 생성한다고 알려져 있다.[4]



이와 같이 자연 분해가 발생하는 니트로셀룰로오스가 내부에 들어있는 화약과 상호작용을 하여 식 (2) ~ (5)와 같은 반응이 가속화되었을 것으로 생각된다. 또한, 니트로셀룰로오스와 같은 질산에스테르 계열의 화합물의 경우 J. B. Levy에 의해 식 (6) ~ (10)과 같은 화학반응이 일어날 수 있다[5].



그 결과 화약용기 내부에서 HNO₃, N₂ 등의 가스가 발생하여 부피 및 압력이 증가함에 따라 화약용기의 마개가 부풀었을 것으로 생각된다. 또한, 발생된 가스와 니트로셀룰로오스가 반응하면서 용기 자체가 경화되어 탄성이 저하되고, 내부 가스로 인한 압력으로 인해 균열이 발생하였을 것으로 판단된다.

3.6 고장 재현을 위한 가속노화시험

3.5절까지 원인 분석을 수행한 결과를 확인하기 위해 가속노화시험을 통한 고장 재현 시험을 실시하였다. 가속노화시험은 90 °C의 고온 환경에서 60일간 저장하면서 발견된 고장과 동일한 현상이 발생하는지 확인하기 위하여 실시되었으며, 여러 비교군(순수 니트로셀룰로오스 소재, 화약이 충전된 화약용기)을 같이 시험하여 각각의 변화를 확인하였다. 이때, 용기 및 순수 소재는 기존에 사용되던 니트로셀룰로오스화약 용기와 동일한 재질로 시험을 실시하였다. 가속노화시험 조건은 기존 선행연구를 바탕으로 설정하였으며, 화약이 보관되는 시험의 안전성을

고려하여 온도는 90 °C로 설정하였다. 시험 시 20일, 40일, 60일에 시료를 불출하여 물성변화 및 열 특성 분석을 수행하였다.

또한, Arrhenius 모델 및 선행 연구를 통해 얻어진 활성화 에너지(선행연구 결과 중 가장 보수적인 값(80.2 kJ/mol)으로 설정)를 바탕으로 가속노화시험을 통한 니트로셀룰로오스 화약용기의 수명을 추정하여 보았다. 식 (11) ~ (13)은 Arrhenius 모델을 나타낸 것으로, 식 (12)를 통해 가속계수를 추정하여 가속노화기간에 따른 실제 수명 기간을 추정하였으며, 화약과 같이 보관된 시료의 경우 화약의 활성화 에너지를 알 수 없기 때문에 순수 니트로셀룰로오스 소재에 대해서만 아래 식을 적용하였다.

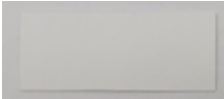
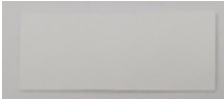

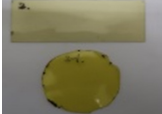



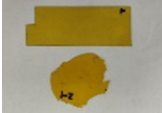
$$L = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \quad (11)$$

$$AF = \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_a} \right) \right] \quad (12)$$

$$t_u = AF \times t_a \quad (13)$$

- E_a : Activation energy [eV]
- k : Boltzmann coefficient (1/11,604.83) [eV/K]
- AF : Accelerating factor
- T_u : Storage temperature [K]
- T_a : Accelerated aging temperature [K]
- t_u : Storage time (real)
- t_a : Accelerating time

Table 3. Accelerated aging test result

day	NC material	Case + Charge
0		
20		
40		
60		

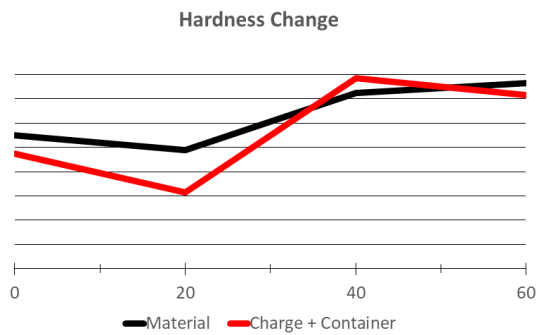


Fig. 9. Hardness change of NC and Container

Table 3의 가속노화시험 결과 순수한 니트로셀룰로오스 소재의 경우 60일(약 93년)이 경과하였을 때, 약한 색상변화는 있었으나 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있었으며, 화약과 같이 보관된 시료의 경우 20일(니트로셀룰로오스 소재 기준 약 30년)이 경과하였을 때 노란색으로 변색이 시작되는 것을 확인하였다.

또한, Fig. 9와 같이 시간이 지남에 따라 니트로셀룰로오스 재질의 경도가 감소하였다가 증가하는 추세를 보이는데, 화약과 용기가 같이 보관되는 경우에 경도의 변화 폭이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 3.5절에서 추정된 가설과 같이 화약과 니트로셀룰로오스 화약용기 사이에 어떠한 화학 반응이 발생할 수 있다는 것을 의미하며, 이러한 반응이 화약용기의 변화를 일으켜 용기의 수명을 단축한 것으로 판단된다. 또한, 변화의 정도를 살펴볼 때 니트로셀룰로오스 화약용기에 화약을 보관하는 경우 3배 이상 반응이 가속화되는 것으로 추정된다.

4. 결론

본 연구에서는 추진기관에 사용되는 화약용기의 수명 평가를 위한 연구를 수행하였다. 추진기관에는 점화 화약을 보관하기 위한 용기가 존재하는데, 니트로셀룰로오스 재질로 된 화약용기의 경우 10년 이상 저장된 후에는 갈색으로 변하거나 균열이 생기는 고장이 발생한 것이 확인되었다.

이러한 고장은 화약용기에 사용된 니트로셀룰로오스의 자연 분해 및 화약과 니트로셀룰로오스 간의 상호작용으로 인한 가스가 발생하였으며, 화약과의 상호작용과 고온 환경 노출로 인하여 분해가 가속화된 것으로 판단된다. 위와 같은 두 가지 원인은 화약용기의 물성을 brittle하게 변화시켰을 것으로 판단되며, 내부 가스발생

으로 인한 압력으로 인해 균열이 발생한 것으로 판단된다. 또한, 가속노화시험 결과 화약과 용기 간의 상호작용으로 인해 수명이 3배 이상 단축되었을 것으로 추정된다.

References

- [1] Mario Paquet, Review of basic concepts related to the thermal decomposition of nitrocellulose, General Dynamics Technical Paper, General Dynamic, Canada pp. 1~18.
- [2] Ruichao Wei, Shenshi Huang, Zhi Wang, Xuehui Wang, Chao Ding, Richard Yuen, Jian Wang, "Thermal behavior of nitrocellulose with different aging periods", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 136, No. 2, pp. 651 ~ 660, 2019
DOI : <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7653-5>
- [3] Department of Defense, "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", MIL-STD-810G, 2000.
- [4] Cho, Ki-Hong, "A Study on the Self-Life Estimation of the Propellant KM10 by using High Temperature Acceleration Aging Tests", *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 5, pp.1735-1740, 2010.
DOI : <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.5.1735>
- [5] J. B. Levy, "The thermal decomposition of Nitrate Esters. II. The effect of additives on the thermal decomposition of ethyl nitrate", *The Journal of American Chemical Society*, Vol. 76, No. 14, pp.3790-3793, 1954.
DOI : <https://doi.org/10.1021/ja01643a059>
- [6] Cho Ki Hong, Chang il ho, "A Study on the Effect of Storing Temperature upon the Self Life of Propelling Charge K676 and K677", *Journal of KIMST*, Vol. 8, No. 1, pp.14-18, 2005.
- [7] R. W. Phillips, C. A. Orlick and R. Steinberger, "The Kinetics of the Thermal Decomposition of Nitrocellulose", *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 59, No. 10, pp.1034-1039, 1955.
DOI : <https://doi.org/10.1021/j150532a011>

김 동 성(Dong-seong Kim)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한국항공대학교 항공공우주 및 기계공학과 (항공우주 및 기계공학석사)
- 2016년 10월 ~ 2019년 12월 : 국방과학연구소 연구원
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

추진, 유도무기, 신뢰성

진 흥 식(Hong-Sik Jin)

[정회원]



- 1991년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (항공우주공학사)
- 2012년 8월 : 국방대학교 사업관리학(사업관리학석사)
- 1991년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

일반기계, 신뢰성