

가열시험법에서 NO_x 가스측정을 적용한 추진제 저장안정성 평가 연구

천보하
국방기술품질원

Evaluation of Ammunition Stockpile Stability of Propellant by Measurement of NO_x Gas by Heating Stability Test Method

Boha Cheon
Defense Agency for Technology and Quality

요약 탄약에서 추진제는 탄체를 목표지점까지 비행할 수 있는 추진력을 제공하는 역할을 하며 질산에스테르 화합물을 주원료로 제조된다. 니트로셀룰로스를 주 원료로 제조된 단기추진제는 장기 저장 시 수분 및 열 등에 의해 자연분해되어 질소 산화물을 생성하고, 이는 자동촉매반응을 촉진시켜 자연발화로 이어질 수 있는 위험성을 가지고 있다. 단기추진제의 자연분해 및 자동촉매반응을 억제하고 지연시키기 위해서 제조 시 안정제를 첨가하는데 추진제의 안전수명은 질소 산화물과 반응하여 소모되는 안정제 함량과 밀접한 관계가 있다. 현재 국방기술품질원은 군에서 장기간 저장된 탄약의 성능과 저장안정성 확보를 위하여 ASRP를 수행하고 있으며, 추진제 저장안정성 평가방법으로 MIL 규격의 스팀 증류법을 사용한 유효안정제 함량으로 평가하고 있다. 본 연구에서는 안정제 함량이 소모된 위험탄약을 긴급 선별하는 방법으로, 가열시험법에 NO_x 가스 측정장비의 적용가능성을 연구하였다. 또한 실시간으로 발생된 NO_x 가스의 배출 패턴을 그래프화하여 탄종별 위험시로 차이를 구별하였다. 기존 가열시험법에 NO_x 가스 측정 장비를 도입함으로써 신속하게 판단된 위험 추진제를 우선적으로 군에 통보하여 추진제 자연발화에 의해 발생할 수 있는 인명피해 및 탄약부대 재산 피해를 미연에 방지하고자 한다.

Abstract In ammunition, propellants are responsible for providing the thrust to propel a projectile to its target and are manufactured from nitrate ester compounds. Short-term propellants made from nitrocellulose are subject to spontaneous decomposition by moisture and heat during long-term storage, producing nitrogen oxides, which can promote autocatalytic reactions and lead to spontaneous combustion. Stabilizers are added during manufacturing to inhibit and delay the spontaneous decomposition and autocatalytic reaction of short-term propellants. Hence, the safe life of the propellant is closely related to the amount of stabilizer consumed by the reaction with nitrogen oxide. Currently, the Defense Technology Quality Institute conducts ASRP to secure the performance and storage stability of long-term stored ammunition in the military and evaluates the effective stabilizer content using the MIL standard steam distillation method as a method for evaluating the propellant storage stability. This study assessed the applicability of NO_x gas measuring equipment to the heating test method for urgently screening dangerous ammunition with the consumed stabilizer content. In addition, the emission pattern of NO_x gas generated in real time was graphed to distinguish the difference between dangerous samples according to the ammunition type. By introducing NO_x gas measurement equipment to the existing heating test method, the military can be notified of dangerous propellants that are quickly identified and prioritized to prevent human casualties and damage to ammunition units caused by spontaneous combustion of propellants.

Keywords : ASRP, Single-Base Propellant, Stabilizer, Heat Stability Test, NO_x(Nitrogen oxide)

*Corresponding Author : Boha Cheon(Defense Agency for Technology and Quality)

email: bohacheon@dtaq.re.kr

Received April 25, 2024

Revised July 4, 2024

Accepted July 5, 2024

Published July 31, 2024

1. 서론

화포용 추진제(gun propellant)의 개발, 제조 및 사용에 있어 탄도학적 성능 못지않게 중요한 것이 화학적 안정도(chemical stability)의 측정이라고 할 수 있다 [1]. 화포용 단기추진제의 주요 성분인 니트로셀룰로오스(NC: Nitrocellulose, 이하 NC)는 질산 에스테르 화합물로 저장기간이 경과 됨에 따라 자연분해 되는데, 이는 NC가 다른 에스테르 화합물과 마찬가지로 장기저장 되면 수분, 직사광선, 열, 산성 물질에 의해 분해되어 질소 산화물(NO_x)과 질산(HNO₃)을 생성시키기 때문이다 [2,3]. 이러한 NC의 자연분해 생성물들이 질산 에스테르 분해를 촉진하는 자동촉매반응(auto catalysis reaction)을 유도하고 이것이 다시 추진제의 온도를 상승시키면서 연소온도 이상에 도달하게 되면 추진제의 자연발화가 일어나게 된다[4-6].

따라서 추진제에 사용하는 안정제는 자동촉매반응을 억제할 수 있도록 질산 에스테르의 분해 생성물과 친화력이 높아야 하고, 안정제와 질소 산화물이 반응한 결과로 생성된 안정제 유도체는 추진제의 조성 물질과 반응성이 없어야 한다[7-10]. 단기추진제에 가장 많이 사용되는 안정제는 (DPA: Diphenylamine, 이하 DPA)로 DPA 한 분자는 NC에서 분해된 질소 산화물과 최대 6개 까지 반응할 수 있어 효과적으로 추진제의 자연분해 반응을 억제할 수 있다[11,12].

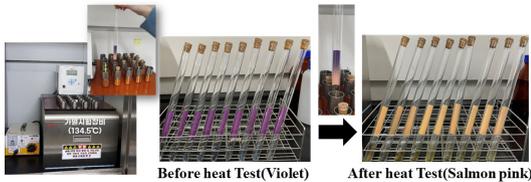


Fig. 1. Heat stability test method

현재 국방부에서는 군에서 저장하고 있는 탄약이 최적의 성능을 유지하면서 저장 안정성을 확인할 수 있도록 저장 탄약 신뢰성 평가(ASRP: Ammunition Stockpile Reliability Program, 이하 ASRP)를 실시하고 있다. 국내에서는 국방기술품질원(기품원)이 국방부로부터 ASRP 종합관리부서로 지정받아 업무를 주관하고 있다. 기품원은 육·해·공군이 보유하고 있는 저장 탄약에 대해서 ASRP를 수행하고 그 결과에 따라 등급판정이 양호한 탄약 로트(Lot.)는 신뢰성을 보장하고, 성능이나 저장 안전성이 저하된 로트에 대해서는 적기에 비군사화(폐기)하

거나 성능을 복구하는 정비방안을 제시함으로써 국방전력의 유지와 예산 절감에 이바지하고 있다.

추진제의 안정성 평가기법 중에는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 추진제를 가열할 때 노화 정도(안정제 소모 여부)에 따라 발생하는 NO_x 기체에 의한 메틸 바이올렛 지시용지의 변색 여부 및 시간으로 종말점을 확인하는 가열시험법이 있다. 이 시험법은 미국의 군사규격인 MIL-STD-286C(404.1.2, Heat tests)과 국방규격(KDS 13**-00**)에 제시된 추진제에 대한 이화학적 검사 항목 중의 하나이다.

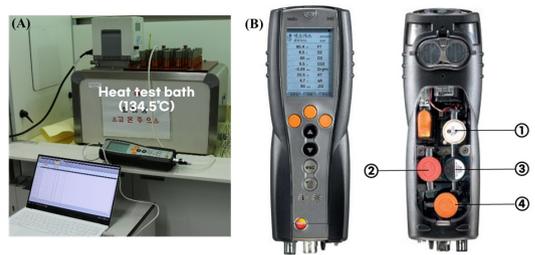


Fig. 2. (A) Heat stability test with gas measuring equipment (B) NO_x gas measuring equipment (① O₂ sensor, ② CO₂ sensor, ③ NO₂ sensor, ④ NO sensor)

본 연구에서는 Fig. 2(A)와 같이 가열시험장비에 NO_x 가스 측정장비를 장착하여 가열된 추진제에서 발생하는 NO_x 가스량을 실시간 모니터링하고 그 배출 패턴을 안정제 품목별·함량별로 나타내고자 한다. 기존 지시용지 색상변화를 육안으로 판단함에 따라 시험 결과값에 시험자별 편차가 발생했지만, 가스 측정장비 도입으로 객관적이고 정량적으로 정확한 데이터 결과값을 산출할 수 있을 것이다. 이를 위해서 기존 가열 시험법에 NO_x 가스 측정장비를 적용하여 여러 가지 단기추진제에 대한 가열 시험 결과값을 산출하여 새로운 개념으로 위험 시료 선별 기준값을 제시하고자 한다[13].

2. 본론

2.1 시험방법

추진제에 대한 이화학 평가기법 중 하나인 가열시험법의 NO_x 가스 발생에 의한 지시용지 변색 지점과 추진제 저장안정성 평가 방법으로 사용하고 있는 MIL-STD-286C(201.4.2.)의 스팀증류법으로 나온 안정제 함량 결과값을 비교하기 위하여 두 가지 분석 방법의 차이를 설

명하고자 한다.

2.1.1 가열시험장비를 이용한 안정제 분석

현재 운용되고 있는 화포용 탄약에는 단기, 복기 및 다기추진제 등 다양한 종류의 추진제가 사용되고 있다. 그중 이번 시험대상은 NC를 기반으로 하는 XXmm 단기 추진제 중에서 타입별 형태가 다르고, 군 보유량이 많은 추진제를 대상으로 하였다.

Fig. 3에서는 보이는 XXmm 같은 구경의 단기추진제 중에서 단공원통형(Fig. 3(A)), 작은 다공원통형(Fig. 3(B)), 큰 다공원통형(Fig. 3(C)) 추진제 각각을 가열시험 장비 전용 시험관에 2.5g 칭량하여 넣는다. 이때 가능한 하나의 덩어리(whole grains)가 되도록 시료를 준비하고 시료가 절단이 필요한 경우에는 세로로 절단한 후 시험관에 넣는다. 단기추진제의 경우에는 시험온도 134.5℃에서 가열시험을 수행하며 유리관에 지시용지를 시료와 함께 넣고 5분 간격으로 확인하면서 종말점을 변색 완결(violet → salmon pink)로 확인하였다. 가열시험에서 가열된 추진제에서 발생하는 NO_x 가스량을 실시간 모니터링하기 위해서는 유리관에 가스 측정장비 프로브를 연결하여 결과값은 easyEmission 소프트웨어(testo software, Testo Korea Ltd.)를 통해 정리하였다.



Fig. 3. Propellant shape of XXmm high explosive propellant single-perforated cylinder type(A), small size multi-perforated cylinder type(B) and large size multi-perforated cylinder type(C)

2.1.2 스팀 증류법을 이용한 안정제 함량분석

추진제의 안정제 함량 측정은 미 군사규격에 따라 단기추진제 안정제 물질인 DPA(Sigma-Aldrich)를 에탄올 용액에 용해하여 농도별 표준 용액을 제조하고, UV-Vis 분광광도계를 이용하여 분석 파장대 285nm에서 흡광도를 측정하여 표준 농도 검량선을 구한다. 대상 시료는 50% 수산화나트륨(NaOH)과 95% 에탄올(EtOH) 용액에 넣고 가열한 후 스팀 증류법에 따라서 안정제를 추출하고 표준 용액과 동일한 방법으로 흡광도를 측정한 후 표준물질(DPA)의 검량선을 이용하여 안정제 함량을

구한다. 추진제 안정제 함량 결과값은 정량적인 시험값으로 10⁻²까지 검출할 수 있지만, 시료 전처리부터 결과값 도출까지 오랜 분석 시간(결과 분석까지 4시간 소요)이 필요하다.

2.2 시험결과

2.2.1 단공원통형 추진제에 대한 가열시험법 결과

날개안정형으로 비행 후에 탄착지에서 폭발하는 XXmm 고평탄(단공원통형 추진제)은 단기추진제 중에서 생산량이 가장 많고 소요량도 점점 증가하는 추세이다. 아래의 Fig. 4(A)에서 보는 바와 같이 단공원통형 추진제는 안정제 함량이 떨어질수록 가열시험 결과에서 지시용지 변색 시점이 점점 짧아지는 것을 확인할 수 있다. 시험결과는 탄약고에서 자연 노화된 ASRP 대상시료를 이용하여 가열시험법을 적용했기 때문에, 시료의 안정제 함량 범위가 한정적이고 다양하지 못한 한계가 있었다. 따라서 앞으로 대상시료의 다양한 안정제 함량값에 대한 가열시험법 결과 데이터가 더 축적된다면 함량값과 가열시험법에 대한 상관성을 더욱 명확하게 알 수 있을 것이다.

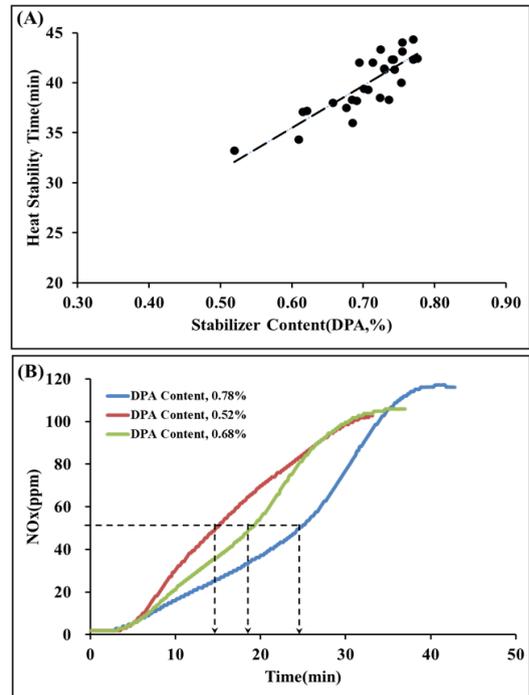


Fig. 4. Relationship between propellant stabilizer content(%) of small size multi-perforated cylinder type and heat stability test result(min)(A) and NO_x(ppm) by gas measuring equipment(B)

Fig. 4(B)는 안정제 함량(0.52, 0.68, 0.78%)에 따른 가열시험법에 의한 NO_x 가스를 실시간 모니터링 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 지시용지에 의한 단순 변색만을 볼 수 있었던 기존 시험법과는 달리 가스 측정장비를 도입함에 따라 변색시간 동안에 변화하는 질소 산화물 가스량을 비교할 수 있었다. 가스측정장비를 장착한 가열시험법에서는 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 안정제 함량별로 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 안정제 함량값 0.52%인 경우에는 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 15분, 0.68%에서는 19분, 0.78%에서는 24분으로 나타났다.

이런 결과들은 가스측정장비를 이용하는 것이 변색 완료 시점까지 시간이 오래 걸리는 지시용지(안정제 함량 0.52%에서도 지시용지 변색 완료 시점은 30분 이상)보다 훨씬 더 빠르게 안정제 저하 추진제를 선별할 수 있음을 나타낸다. 이번 시험결과에서 안정제 함량 0.3% 이하인 위험 추진제를 선별하기 위한 NO_x 가스 배출량에 대한 시간 기준점을 제시할 수 없지만 앞으로 다양한 안정제 함량값에 대한 시험결과값이 누적되면 위험 추진제 기준점을 제안할 수 있을 것이다. 안정제 함량이 0.52% 이하로 떨어진 위험시료의 경우에는 지시용지 변색시간 33분이었지만, 가스측정기로 측정한 결과 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 15분 내외로 더 빠르게 안정제 함량 정도를 판단할 수 있다.

Table 1. Result of XXmm high explosive propellant's Regression Analysis(Heat stability time vs. single-perforated cylinder type propellant stabilizer content)

Multiple Correlation Coefficient	0.85
Coefficient of Determination(R ²)	0.723
y-intercept	42.199x+10.162
Significance F	1.93×10 ⁻⁸
Observations	27

XXmm 단공원통형 탄약 추진제 27개 로트의 안정제 함량과 가열시험 결과값 사이에 상관관계를 분석하기 위해 엑셀을 이용하여 회귀분석을 수행하였고 그 결과를 Table 1에 정리하였다. 분석결과 유의한 F값은 1.93×10⁻⁸로 0.05보다 매우 작아 회귀식이 종속변수의 예측에 도움이 된다고 판단되었고, 결정계수(R²)는 0.723으로 안정제 함량값이 가열시험법 결과값에 72% 이상 영향을 미치는 것으로 파악하였다. XXmm 단공원통형 추진제에

서 안정제 함량이 낮아질수록 가열시험 결과 시간은 짧아지고, NO_x 가스측정장비를 적용한 시험결과에서도 함량별 일정 가스 배출량에 도달하는 시간이 상이하다는 것을 알 수 있었다.

2.2.2 작은 다공원통형 추진제에 대한 가열시험법 결과

XXmm 고폭탄은 고폭화약이 충전되어 있어서 폭풍 및 파편효과로 인마살상 및 장비 파괴용으로 사용되고 있다. 이 고폭탄 추진제의 형상은 작은 다공원통형(small size multi-perforated cylinder type)으로 탄체 내부에는 TNT 또는 Comp-B가 충전되어 있다.

아래의 Fig. 5(A)에서 보는 바와 같이 XXmm 작은 다공원통형 추진제는 비교적 다양한 범위에 있는 안정제 함량에 대한 가열시험법을 실시할 수 있었고, 안정제 함량값이 낮을수록 짧아지는 변색 완료 시간을 나타내었다.

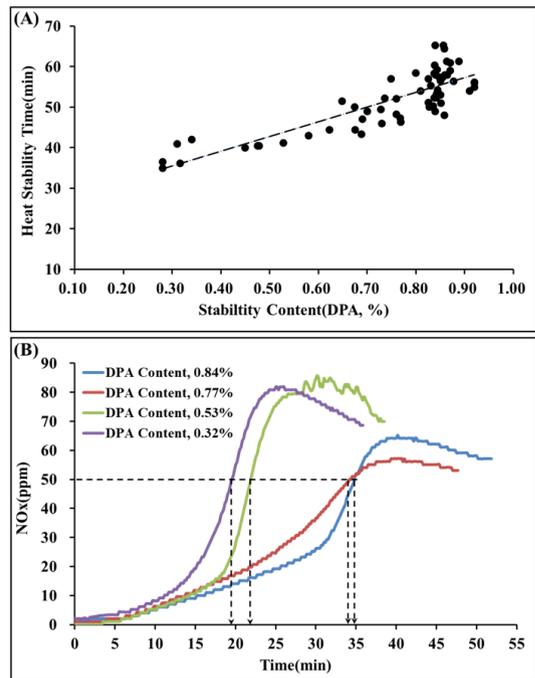


Fig. 5. Relationship between propellant stabilizer content(%) of small size multi-perforated cylinder type and heat stability test result(min)(A) and NO_x(ppm) by gas measuring equipment(B)

위험 추진제에 대한 속성분석법(스크리닝법)을 도입하고자 할 때는 XXmm 고폭탄 작은 다공원통형 추진제의 경우 가열시험법 결과에서 지시용지 변색 완료 시점이 40분 이내가 되면 그 시료는 우선적으로 스텝 증류법을 수

행할 수 있다. Fig. 5(B)는 안정제 함량(0.32, 0.53, 0.77, 0.84%)에 따른 가열시험법에 의한 NO_x 가스를 실시간 모니터링 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 가스측정장비를 장착한 가열시험법에서는 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 안정제 함량별로 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 안정제 함량값 0.32%인 경우에는 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 19분, 0.53%에서는 21분, 0.77%에서는 34분, 0.84%에서는 35분으로 나타났다.

이런 결과들은 가스측정장비를 이용한 실시간 모니터링 하는 것이 변색 완료 시점까지 시간이 오래 걸리는 지시용지 변색법보다 훨씬 더 빠르게 안정제 저하 추진제를 선별할 수 있음을 나타낸다.

Table 2. Result of XXmm high explosive propellant's Regression Analysis(Heat stability time vs. small size multi-perforated cylinder type propellant stabilizer content)

Multiple Correlation Coefficient	0.839
Coefficient of Determination(R ²)	0.703
y-intercept	36.257x+24.66
Significance F	1.79×10 ⁻¹⁷
Observations	62

작은 다공원통형 추진제 62개 로트에 대한 안정제 함량과 가열시험 결과값의 상관관계를 분석하기 위해 회귀 분석을 수행하였고, 그 결과를 Table 2에 정리하였다. 분석결과 유의한 F값은 1.79×10⁻¹⁷로 0.05보다 매우 작아 회귀식이 종속변수의 예측에 도움이 되는 것으로 판단되고 결정계수(R²)는 0.703으로 안정제 함량값이 가열 시험법 결과값에 70% 이상 영향을 미치는 것으로 파악하였다. XXmm 작은 다공원통형 추진제에서도 안정제 함량이 낮아질수록 가열시험 결과 시간은 짧아지고 NO_x 가스측정장비를 적용한 시험결과에서도 함량별 일정 가스 배출량에 도달하는 시간대가 상이해서 위험 추진제 선별이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

2.2.3 큰 다공원통형 추진제에 대한 가열시험법 결과

XXmm 큰 다공원통형 추진제는 단일장약이며 장약포는 백색으로 되어있다. 발사 시 추진제가 뇌관에 의해 쉽게 점화될 수 있도록 추진제의 아랫면에는 저부점화제가 중심부에는 점화관이 들어있다. 추진제의 전체 길이가 긴 편으로 장신형의 곡사포에서만 사용된다. 이것은 완성장약으로 K계열의 추진제를 사용(추진제 제조 시,

DPA 약 1% 첨가)하고 있으며 그 형상은 큰 다공원통형 (large size multi-perforated cylinder type)이다.

Fig. 6(A)에서 보는 바와 같이 시험결과 2.2.1과 2.2.2에서 설명한 두 추진제보다 큰 다공원통형 추진제는 훨씬 더 다양한 안정제 함량값 분포를 가진 시료를 확보할 수 있었다. 안정제 함량이 0.3% 미만인 위험시료의 경우에는 가열시험 변색시간 40분 미만이라는 것을 알 수 있고 안정제 함량값 대략 0.75% 이상이 되면 변색시간 50분 이상이 되는 것으로 나타났다.

Fig. 6(B)는 안정제 함량(0.3, 0.4, 0.78, 1.02%)에 따른 가열시험법에 의한 NO_x 가스를 실시간 모니터링 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 가스측정장비를 장착한 가열시험법에서는 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 안정제 함량별로 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 안정제 함량값 0.3%인 경우에는 NO_x 가스 50ppm이 배출되는 시간이 32분, 0.4%에서는 33분, 0.78%에서는 47분, 1.02%에서는 52분으로 나타났다. 가열시험에 의한 큰 다공원통형 추진제의 NO_x 가스 배출 패턴은 톱니바퀴 모양처럼 들쭉날쭉한 결과를 나타내었고, 앞에 시험한 두 개의 추진제와는 다른 양상이었다.

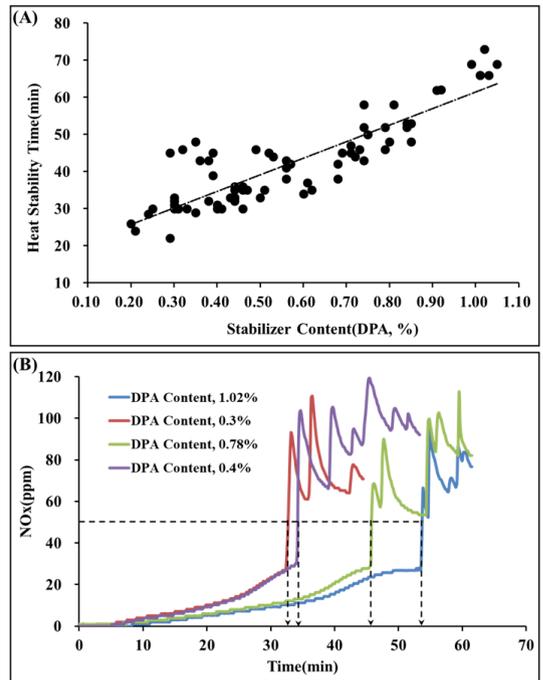


Fig. 6. Relationship between propellant stabilizer content(%) of large size multi-perforated cylinder type and heat stability test result(min)(A) and NO_x(ppm) by gas measuring equipment(B)

이것은 추진제의 크기에 따른 형상 차이로 추진제의 크기가 클수록 배출되는 가스량이 일정하지 못하기 때문이라고 생각된다. 앞선 두 추진제(단공원통형, 작은 다공원통형)의 결과들은 가스측정장비를 이용하는 것이 변색 완료 시점까지 시간이 오래 걸리는 지시용지 변색법보다 훨씬 더 빠르게 안정제 저하 추진제를 선별할 수 있었지만, 큰 다공원통형 추진제의 경우에는 지시용지 변색법과 가스측정법 사이에서 시간 차이가 크지 않음을 알 수 있었다.

Table 3. Result of XXmm high explosive propellant's Regression Analysis(Heat stability time vs. large size multi-perforated cylinder type propellant stabilizer content)

Multiple Correlation Coefficient	0.873
Coefficient of Determination(R ²)	0.763
y-intercept	44.681x+16.77
Significance F	3.05×10 ⁻²⁴
Observations	74

XXmm 큰 다공원통형 추진제 74개 로트의 안정제 함량과 가열시험 결과값의 상관관계를 분석하기 위해 엑셀을 이용한 회귀분석을 수행하였고, 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 분석결과 유효한 F값은 3.05×10⁻²⁴로 0.05보다 매우 작아 회귀식이 종속변수의 예측에 도움이 된다고 판단되고 결정계수(R²)는 0.763으로 안정제 함량이 가열시험법 결과값에 약 76% 이상 영향을 미치는 것으로 파악하였다. 이러한 결과를 통해서 XXmm 큰 다공원통형 추진제에서 안정제 함량이 현저히 낮아진 위험시료에 대한 스크리닝을 수행할 때는 가열시험 결과에서 40분 이내에 지시용지가 변색이 된다면 그 시료는 우선하여 스팀 증류법을 수행해야 할 것이다.

기존 저장 탄약 신뢰성 평가방식에서는 당해연도 ASRP 대상시료를 입고 순서대로 무작위로 스팀 증류법을 진행해야 했지만, 스크리닝을 위한 가스측정장비를 장착한 가열시험법을 도입하게 되면 입고된 시료들에 대한 분석 우선순위는 일정한 NO_x 가스 배출량을 짧은 시간에 나타내는 위험 시료 후보군부터 먼저 스팀 증류법을 수행할 수 있다. 이때, 탄종별로 위험시료에 대한 일정한 NO_x 가스 배출량과 배출시간 기준을 마련하고 그 적용 가능성을 알아보고자 하는 것이 이번 연구의 목적이라고 할 수 있다. 앞으로도 다양한 탄종별 위험시료 선별을 위한 NO_x 가스 측정장비를 장착한 가열시험법에

대한 기준을 꾸준히 정립해 나가야 할 것이다. 가열시험법에 의해서 분석 우선순위가 되는 추진제에 대해서는 스팀 증류법으로 정량적인 시험값으로 10⁻²까지 정확하게 산출해낼 수 있고 이러한 스크리닝 시스템을 통해서 위험한 추진제를 연증보관 하면서 ASRP 대상시료를 분석하는 담당 기관의 부담을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 이러한 결과를 사용군에 즉시 통보하여 위험 탄약을 선제적으로 비군사화함으로써 추진제 자연발화에 의한 인명피해 및 탄약부대의 재산 피해를 미연에 방지할 수 있게 된다. 이러한 스크리닝 시스템 도입을 위한 위험 추진제 안정성 평가기법 연구가 ASRP 효율성 제고와 추진제의 저장 안정성 평가 신뢰도 향상에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결론

단기추진제 주성분은 질산 에스테르 화합물로 장기간 저장할 때 주위의 환경조건에 따라 열분해 및 가수분해를 일으켜서 자연분해 된다. 이러한 추진제의 자연분해가 가속화되면 자연발화 및 폭발사고를 야기할 가능성이 있다. 그러나 안정제 함량이 안정주기에 들어갈 만큼 충분히 남아 있다면 자연발화는 일어나지 않는다. 본 연구에서는 추진제 자연발화 사고 예방에 NO_x 가스 측정장비를 장착한 가열시험 스크리닝 시스템 적용을 위해서 위험시료에 대한 추진제 타입별 가열시험법 기준시간을 제안하였고, 상관관계를 확인하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과로 지시용지를 이용해서 가열시험을 진행했을 때는 알 수 없었던 변색 완료 시점까지의 NO_x 가스 배출 과정을 측정장비 도입으로 실시간 그래프화할 수 있었다. 같은 안정제 함량값을 갖더라도 추진제 탄종별(타입별)로 서로 다른 특징적인 NO_x 가스 배출 패턴을 나타낸다는 것도 이 연구를 통해서 알 수 있었다. 시험 시료수(74개 로트)가 가장 많았던 큰 다공원통형 추진제에 대해서는 위험 시료 기준은 모두 40분 이내였다. 앞으로는 더 다양한 범위의 추진제 탄종별/안정제 함량별 가열시험을 통해서 위험시료 판단 기준을 통계적으로 확인해 나갈 것이다. 이에 본 연구에서는 새로운 안정제 함량 스크리닝 시스템에 대한 탄종별 신속한 위험 추진제 선별 기준을 제시하고 향후 다양한 탄종별 추진제에 대한 위험시료를 예측할 수 있도록 평가방법을 보완하는 방안을 제시하고자 하였다.

위험시료 속성 선별에 대한 가열시험 장비 적용을 위

해서 형상이 다른 탄종별 단기추진제의 빠른 안정제 함량 측정 시험 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째로는 자연 노화 상태인 ASRP 대상시료 그대로 안정제 함량값을 구하고 가열시험법을 적용한 결과 판단 가능한 탄종에서는 40분 이내 가열시험법 위험 시료 판단 기준을 잡을 수 있었다. 그리고 기존 지시용지 변색을 이용한 가열시험법에서는 알 수 없었던 NO_x 가스 배출 패턴을 이번 연구에서는 가스측정장비를 적용함으로써 실시간 그래프화 할 수 있었다. 같은 구경의 추진제일지라도 추진제 형태에 따라서 가열시험법 NO_x 가스 배출 패턴도 크게 달라진다는 것도 이번 시험을 통해서 알 수 있었다. 이것은 향후 탄속과도 관련이 있는 추진제 자체의 안정성을 판단할 때도 참고할만한 자료가 될 수 있을 것으로 기대한다. 이렇게 가열시험법 도입으로 위험 추진제 긴급 판단으로 시료의 우선순위를 결정하고 위험 탄약을 빠르게 식별하여 군에 즉시 통보하여 긴급 폐기 함으로써 추진제 자연발화에 의한 인명피해 및 탄약부대 재산 피해를 미연에 방지하고자 한다.

두 번째로는 NO_x 가스 측정장비를 도입한 가열시험법으로 위험시료 판단을 위해서는 더 많은 탄종과 다양한 안정제 함량별 시험 데이터 축적으로 위험시료 선별을 위해 일정 NO_x 가스량 대비 시간에 대한 기준을 확립하고 더 나아가 군부대에 가열시험 장비를 보급하고 탄종별 정해진 기준에 따라서 간편하게 현장에서 긴급을 요하는 추진제 위험성 분석이 가능할 것으로 기대한다.

References

- [1] K. Yoon, S. Park, "A study on the estimation of shelf-life for 155mm propelling charge KM4A2 using ASRP's data", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol.42, No.3, pp.291-300, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7469/KSQM.2014.42.3.291>
- [2] Z. Sun, X. Fu, H. Yu, X. Fan, X. Ju, "Theoretical study on stabilization mechanisms of nitrate esters using aromatic amines as stabilizers", *Journal of Hazardous Materials*, Vol.339, No.5, pp.401-408, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.06.025>
- [3] P. E. Hande, A. Baran Samui, "Determination of diphenylamine(DPA) stabilizer in propellant - a minireview", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.46, pp.1638-1644, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prep.202100210>
- [4] L. Xie, H. Deng, Z. Wang, W. Wang, J. Liang, G. Deng, "An approach to detecting diphenylamine content and assessing chemical stability of single-base propellants by near-infrared reflectance spectroscopy", *Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol.285, No.6, pp.695-702, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121906>
- [5] L. S. Lussier, H. Gagnon, "On the chemical reactions of diphenylamine and its derivatives with nitrogen dioxide at normal storage temperature conditions", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.25, pp.117-125, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200006\)25:3<117::AID-PREP117>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200006)25:3<117::AID-PREP117>3.0.CO;2-8)
- [6] T. Lindblom, "Reaction in stabilizer and between stabilizer and nitrocellulose in propellants", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.27, pp.197-208, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200209\)27:4<197::AID-PREP197>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200209)27:4<197::AID-PREP197>3.0.CO;2-W)
- [7] W. P. C. de Klerk, "Assessment of stability of propellants and safe lifetimes", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.40, pp.388-393, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prep.201500040>
- [8] N. J. Curtis, "Isomer distribution of nitro derivatives of diphenylamine in gun propellants: Nitrosamine Chemistry", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.15, pp.222-230, 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prep.19900150509>
- [9] L. S. Lussier, H. Gagnon, M. A. Bohn, "On the chemical reactions of diphenylamine and its derivatives with nitrogen dioxide at normal storage temperature condition", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.25, pp.117-125, 2000
DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200006\)25:3<117::AID-PREP117>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200006)25:3<117::AID-PREP117>3.0.CO;2-8)
- [10] T. Lindblom, "Reaction in stabilizer and between stabilizer and nitrocellulose in propellants", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.27, pp.197-208, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200209\)27:4%3C197::AID-PREP197%3E3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200209)27:4%3C197::AID-PREP197%3E3.0.CO;2-W)
- [11] AOP-48 Ed.2, "Explosives, nitrocellulose based propellants-stability test procedures and requirements using stabilizer depletion", North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, 2007.
- [12] M. A. Bohn, N. Eisenreich, "Kinetic modelling of the stabilizer consumption and of the consecutive products of the stabilizer in a gun propellant", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.22, pp.125-136, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prep.19970220306>
- [13] J. Seo, B. Cheon, N. Lee "Rapid analysis method for stabilizer content in propellants using heat stability test", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.12, pp.312-317, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.12.312>

천 보 하(Boha Cheon)

[정회원]



- 2009년 8월 : 인하대학교 화학과 (이학사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

품질경영, ASRP