

자동 추출 및 증류장비를 활용한 DPA 함량 측정법 비교 연구

천보하, 서지영, 배만재*
국방기술품질원

Comparative Study of DPA Content Measurement Method by Automatic Extractive distillation

Boha Cheon, Jiyoung Seo, Man Jae Bae*
Defense Agency for Technology and Quality

요약 탄약에서 추진제는 탄체를 목표지점까지 비행할 수 있도록 추진력을 제공하며, 질산에스테르 화합물을 기반으로 제조된다. 질산에스테르 화합물은 장기 저장 시 수분 및 열 등에 의해 자연분해되어 질소 산화물을 생성하고, 질소 산화물은 자동촉매반응을 촉진시켜 자연발화로 이어질 수 있는 위험을 증대시킨다. DPA(Diphenylamine)는 추진제 제조 시 자연발화의 위험성을 낮추기 위해 첨가하는 안정제로서 질소 산화물과 반응하여 자동촉매반응을 억제하는 역할을 하며, 저장 기간이 경과함에 따라서 안정제의 함량은 감소된다. 현재 국방기술품질원에서는 유효 안정제 함량 측정 방법으로 수동 기구를 이용한 스티프 증류법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 수동 기구 대신 식품 및 의학분야에서 사용하는 자동화된 추출 및 증류 장비가 수동기구를 이용한 스티프증류법에 적용 가능한 지 알아보려고 한다. 따라서 가장 많이 사용 되는 2개 사의 자동 추출 및 증류 장비를 사용하여 측정한 DPA 함량과, 기존의 수동 기구를 사용하여 측정한 DPA 함량 결과를 비교하고, 자동 추출 및 증류 장비를 적용할 경우의 문제 및 개선점을 파악하여 추후 장비 도입 시 활용하고자 한다.

Abstract Propellants provide the propulsion required for munitions to reach designated targets and are manufactured from nitrate ester-based compounds that are decomposed to nitrogen oxides by moisture and heat during long-term storage, and this natural decomposition promotes an autocatalytic reaction and increases the risk of self-ignition. DPA is a stabilizer added during propellant manufacture to reduce the risk of self-ignition and acts to suppress this autocatalysis by reacting with nitrogen oxides. However, DPA contents in propellants decrease during storage. Currently, the Defense Agency for Technology and Quality uses a steam distillation method and a manual instrument to measure effective stabilizer content. In this study, we sought to determine whether automatic extraction and distillation equipment used in the food and medical fields could be used to replace the existing steam distillation method. We compared DPA contents measured using the automatic extraction and distillation equipment used routinely by two companies and DPA contents measured using the manual method. The results showed that the automatic extraction and distillation method provided improvements sufficiently significant to justify using this method to determine DPA levels in propellants.

Keywords : ASRP, Propellant, Stabilizer, DPA, Ammunition

*Corresponding Author : Man Jae Bae(Defense Agency for Technology and Quality)

email: mjbae@dtqa.re.kr

Received July 21, 2023

Accepted September 1, 2023

Revised August 18, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

탄약에서 추진제 (Propellants)는 탄체 (Projectiles)를 목표지점까지 비행할 수 있도록 추진력을 제공하는 역할을 하며, 주요 성분은 NC (Nitro-Cellulose), NG (Nitro-Glycerine) 및 NGu (Nitro-Guanidine) 등과 같은 질산에스테르 (Nitrate Ester) 화합물로 구성 된다. 탄약은 전쟁을 대비하기 위해 비활성 상태로 장기간 보관되다가 유사시에 사용하여 성능을 발휘해야하는 일회성 장치 (One-shot device)로 총 수명 주기 (Total life cycle) 동안 대부분의 시간이 저장 기간으로 소요된다. 추진제는 장기간 저장되는 동안 저장 환경으로부터 수분, 직사광선, 열 및 산성 물질 등에 의해 자연분해 되어 질소 산화물 (NO_x)과 질산(HNO_3)이 생성된다. 이러한 분해반응은 자동촉매반응 (Auto catalysis reaction)을 일으켜 자연분해를 가속화시킨다[1-4].

질산에스테르 화합물인 추진제의 자연분해로 인하여 자연발화가 발생할 수 있으며, 이를 지연시키기 위해 추진제 제조 시 DPA(Diphenylamine), EC(Ethyl Centralite) 등과 같은 안정제(Stabilizer)를 첨가한다.

DPA는 주로 재래식 탄약의 단기 추진제에 첨가되는 유기 안정제로 2개의 페닐 그룹에 결합 된 아민으로 구성된 아닐린 (Aniline)의 유도체이다. DPA와 EC는 NC 보다 질소 산화물과 반응성이 높아 발생한 질소 산화물을 고정시키며, 산화작용을 방지함으로써 자동촉매반응을 억제시킨다[5-7]. 하지만, 추진제에 포함된 안정제는 시간 경과에 따라 함량이 감소한다는 한계점이 있으며, 이에 추진제 안정성 확보를 위한 저장수명 예측에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[8-11].

국방기술품질원에서는 저장 탄약 신뢰성 평가(ASRP, Ammunition Stockpile Reliability Program)를 통하여 저장 탄약의 성능과 안전성을 확인하고 있다. 저장 탄약 신뢰성 평가에서 추진제의 안정제 함량 분석 시험은 MIL-STD-286C "Propellants, Solid: Sampling, Examination and Testing"의 Method 201.4.2 Diphenylamine and Ethyl Centralite in Admixture or Separately (Steam distillation spectrophotometric method) (이하 MIL-STD-286C (201.4.2))에 따라 수동 추출 및 증류 장치를 사용하여 안정제를 추출하고 자외선-가시광선 분광법으로 안정제 함량을 측정하고 있다[12].

저장 탄약 신뢰성 평가에서는 추진제의 잔여 안정제 함량을 기준으로 안정성 등급을 A, C, D 3가지 등급으로 분류하고 있다. 안정제 함량이 0.3 % 이상은 A 등급

으로 해당 탄약은 계속 저장가능 한 것으로 판단하며, 0.2 % 이상 0.29 % 이하일 경우에는 C 등급으로 분류하고 1년 내 소모를 군에 권고한다. 만약, 안정제가 0.2 % 미만인 탄약에 대해서는 D 등급으로 분류하고 60일 내 폐기하도록 군에 권고한다[13].

추진제 안정제 함량 분석 시험 과정에는 고온의 증기 발생 및 유리 플라스크류 파손에 의한 시험자의 안전사고 노출, 숙련된 인적자원 확보의 어려움, 시험 과정 상 시관찰 필요 등 어려움이 있다. 반면 식품에서는 조지방 추출을 위한 자동 추출 장비를 도입하고 토양, 대기 등에서 불소함량을 위한 자동 증류 장비를 도입하여 효율성을 극대화하고 작업자의 시간을 절약하는 등의 장점이 있어 이를 추진제의 안정제 함량을 측정하는 시험법에 적용해 보고자 한다.

본 연구에서는 VELP Scientifica사 (이탈리아)와 Buchi Labortechnik사 (스위스)의 제조사에 따라 자동 추출 및 증류 장비 등으로 구성하여 단기 추진제 안정제인 DPA 함량 시험에 적용하였다. 기존의 수동 추출 및 증류 장치와 자동 추출 및 증류 장비를 통한 안정제 함량의 측정 값 비교를 통해 수율 및 반복성을 비교하였다. 또한, 저장 탄약 신뢰성 평가 수행에 따른 추진제 안정제 함량 측정을 위하여 자동 용매 추출 및 증류 장비의 도입 가능성을 고찰하였다.

2. 연구 방법 및 재료

2.1 연구설계

본 연구에서는 MIL-STD-286C (201.4.2) 절차서를 기반으로 단기 추진제 (Mono propellants)의 안정제 함량을 수동 추출장치와 자동 추출장비를 사용하여 추출하고, 수동 증류장치와 자동 증류 장비로 증류하여, 자외선-가시광선 분광법을 통해 DPA의 함량을 측정하였다. 안정제 함량의 기준은 Fig. 1과 같이 기 보유하고 있는 수동 추출 및 증류장치를 이용한 DPA의 함량을 기준으로 하였다.

자동 추출 및 증류 장비를 사용한 2종의 시험기의 구성은 다음과 같다. Set 1 은 VELP Scientifica사의 SER-158/6 추출기와 UDK-129 증류기로 구성되며, Set 2는 Buchi Labortechnik사의 E-800 추출기와 Kjel Line 증류기로 구성하였다. 각 자동 추출 및 증류 장비 세트의 사양은 Table 1과 같다.

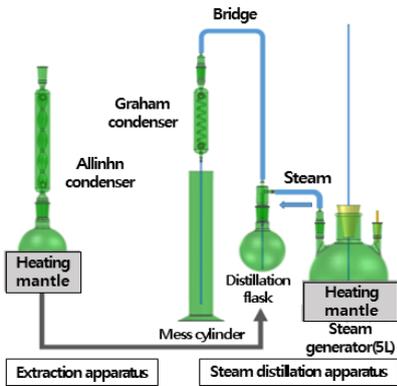


Fig. 1. Steam distillation apparatus

Table 1. Automatic extraction and distillation equipment specification

Spec.	Set 1 VELP Scientifica	Set 2 Buchi Labortechnik	
Extraction	Model	SER-158/6	Universal E-800
	Temperature range	<300 °C	<150 °C
	Thimbles size	33 mm × 80 mm	33 mm × 94 mm
	Solvent volume	<200 ml	<175 ml
	Solvent recovery	>90%	unknown
Distillation	Model	UDK-129	Kjel Line K-360
	Reproducibility	<1%	<1%

추진제 안정제 분석 시험은 Fig. 2와 같이 시료 칭량 (Weighing), 추출 (Extraction), 방랭 (Cooling), 증류 (Distillation)의 순서로 진행된다. 추진제 내의 DPA 잔여 함량은 각 세트에서 10회씩 시료를 추출 및 증류하여 UV-Vis Spectrophotometer을 사용하여 측정하였고 수동 추출 방법을 기준으로 자동 추출 장비의 수율 및 측정의 반복성을 비교하였다.

2.2 시료 및 시약

본 연구에 사용된 추진제 시료는 K(M)000 단기 추진제로 DPA가 안정제로 첨가되어 있으며, Fig. 3과 같이 단공 원통형 구조이다. 측정에 사용된 시약의 세부 내용은 Table 2와 같다.



Fig. 3. Shape of sample(single perforated propellants)

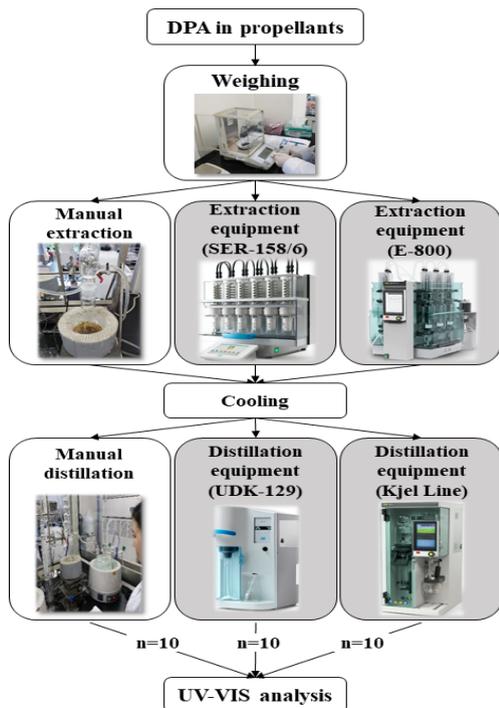


Fig. 2. Summary of experiment process

Table 2. Reagent Material

Reagent	Cas No	Purity	Manufacturer
DPA	122-39-4	≥99% ACS grade	Sigma-Aldrich
Ethyl alcohol, anhydrous	64-17-5	99.9%	SAMCHUN
Sodiumhydroxide beads	1310-73-2	Extra Pure	DAEJUNG

2.3 추출

고체 추진제 시료에 에탄올 (Ethyl alcohol)을 용제로 사용하여 안정제를 분리하는 고체-액체 추출방법을 적용하였다. 추진제에 50% NaOH 수용액 (Sodium hydroxide) (weight/weight) 50mL와 99.9% 에탄올 100mL를 가하고 용질 (Solute)인 DPA가 용해될 수 있도록 녹는점 이상으로 가열한다. 이때 구관 냉각기 (Allihn condenser)를 이용하여 기화된 용매를 다시 용기로 되돌아오게 함으로써 용매의 손실을 방지한다. 수동 추출 장치와 Set1 (VELP Scientifica사), Set 2 (Buchi Labortechnik사)를 이용하여 동일한 조건으로 시험을 진행하였다.

2.4 수증기 증류

추출이 완료된 용액을 30분간 방랭 후 증류를 진행하였다. 시료에 직접 열을 가하지 않고, 스팀을 발생시켜 유효추출 성분을 끓는점보다 낮은 온도에서 추출하는 수증기 증류법을 적용하였다[14]. 수증기 증류 과정에서는 증류수와 유효추출 성분 증기압의 합이 대기압과 같아지면 추출이 시작되며, 증류수와 안정제 시료가 혼합된 증기는 나사관 냉각기 (Graham condenser)를 통과하면서 액화된다. 수동 추출 장치와 Set 1 (VELP scientifica사), Set2 (Buchi labortechnik사)를 이용하여 증류를 진행하였다.

2.5 DPA 함량 측정

추출 및 증류 과정을 통해 얻은 용액을 VARIAN사의 CARY 300 UV-Vis Spectrophotometer (Varian Inc., USA)를 이용하여 분석하였으며, 285nm에서의 Peak 정도(흡광도)를 이용하여 DPA 함량을 평가하였다.

3. 안정제 함량 측정 결과

자동 추출 및 증류 장비의 재현성 확인을 위해 수동 추출 방법으로 얻은 DPA 함량의 측정 결과를 기준으로 Set 1, 2에 대하여 각각 F-검정과 t-검정을 수행하고, 수동 추출 대비 수율을 확인하였다.

3.1 수동 추출 및 증류 장치 대 Set 1

추진제 안정제 함량에 대한 수동시험과 Set1을 이용한 함량 측정 결과는 Table 3와 같다.

Table 3. DPA content result : Manual vs Set 1 (VELP scientifica)

	DPA Content (%)	
	Manual (Reference)	Set 1 (VELP scientifica)
1	0.77	0.65
2	0.76	0.65
3	0.76	0.64
4	0.75	0.64
5	0.76	0.66
6	0.75	0.65
7	0.76	0.64
8	0.76	0.65
9	0.77	0.66
10	0.76	0.64

두 그룹 간의 분산결과에 따라 유의성을 추출하기 위해 분산에 대한 두 집단의 F-검정을 수행하였으며, Table 4에서 확인할 수 있듯 단측 검정 P 값은 0.403으로 양측 검정 기준 0.806이 된다. P 값이 0.05 이상이므로 등분산으로 가정하고 T-검정을 진행하였으며, 그룹 간의 유의확률인 P 양측검정 결과가 0.99E-20으로 유의수준인 0.05보다 작게 추출됨으로써 두 그룹 간에 유의한 차이가 있음을 확인하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

Table 4. F-test result : Manual vs Set 1 (VELP scientifica)

	Manual (Reference)	Set 1 (VELP scientifica)
Mean	0.761	0.649
Variance	3.54E-05	2.99E-05
F	1.184	
$P(F \leq f)$ one-tail	0.403	
F Critical one-tail	3.179	

Table 5. t-test result : Manual vs Set 1 (VELP scientifica)

	Manual (Reference)	Set 1 (VELP scientifica)
Mean	0.761	0.649
Variance	3.54E-05	2.99E-05
t stat	43.71318896	
$P(T \leq t)$ one-tail	4.9987E-20	
t critical one tail	1.734	
$P(T \leq t)$ two-tail	0.99E-20	
t critical two tail	2.101	

3.2 수동 추출 및 증류 장치 대 Set 2

추진제 안정제 함량에 대한 수동시험과 Set2를 이용한 함량 측정 결과는 Table 6과 같다.

분산에 대한 두 집단의 F-검정 결과 단측 검정 P 값은 0.147로 양측 검정 기준 0.294가 되었으며, P 값이 0.05 이상이므로 등분산으로 가정하고 T-검정을 진행하였다. Table 7에 정리한 것과 같이 그룹 간의 유의확률인 P 양측검정 결과가 8.23919E-10으로 유의수준인 0.05 이하로 나타났으며, 두 그룹 간에 유의한 차이가 발생함을 확인하였으며 그 결과는 Table 8과 같다.

Table 6. DPA content result : Manual vs Set 2 (Buchi laborotechnik)

	DPA Content(%)	
	Manual (Reference)	Set 2 (Buchi laborotechnik)
1	0.77	0.74
2	0.76	0.72
3	0.76	0.72
4	0.75	0.72
5	0.76	0.74
6	0.75	0.72
7	0.76	0.72
8	0.76	0.72
9	0.77	0.73
10	0.76	0.71

Table 7. F-test result : Manual vs Set 2 (Buchi laborotechnik)

	Manual (Reference)	Set 2 (Buchi laborotechnik)
Mean	0.761	0.722
Variance	3.55E-05	7.32E-05
F	0.483	
$P(F \leq f)$ one-tail	0.147	
F Critical one-tail	0.315	

Table 8. t-test result : Manual vs Set 2 (Buchi laborotechnik)

	Manual (Reference)	Set 2 (Buchi laborotechnik)
Mean	0.761	0.722
Variance	3.54E-05	7.32E-05
t stat	11.639	
$P(T \leq t)$ one-tail	4.11959E-10	
t critical one tail	1.734	
$P(T \leq t)$ two-tail	8.23919E-10	
t critical two tail	2.101	

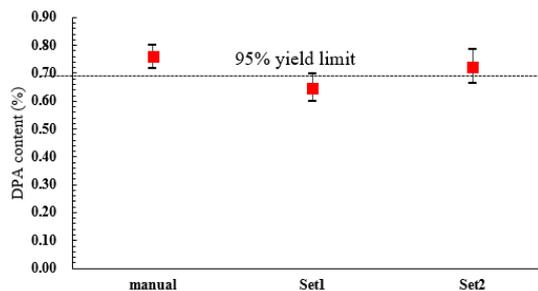


Fig. 4. DPA content interval plot with 95 % CI

4. 고찰

본 연구에서는 기존 수동 시험에 자동 추출 및 증류 장비 도입을 위해 VELP사 추출 및 증류 장비 각 1종과 BUCHI사의 추출 및 증류 장비 각 1종, 총 2가지 조합으로 시험을 진행하여 기존 수동 습식시험과 수율 및 반복성을 비교하였다.

VELP사의 SER-158/6과 UDK-129를 이용한 안정제 함량 분석 시험의 수율은 기존 수동 시험 대비 85% 수준이었다. 수동 추출 및 증류시험 대비 낮은 수율은 다음과 같은 장비 특성으로부터 기인하였을 수 있다. SER-158/6 추출장비는 냉각관 상부가 막혀있어 30분 방랭 후 추출 용액 회수를 위해 에탄올을 냉각관으로 흘려주는 과정이 생략되었다. 또한 UDK-129 증류 장비는 증류 세기 조절이 불가능하여 MIL-STD-286C(201.4.2) 절차서에 규정된 증류 속도(7~9mL/min)가 아닌 기본적으로 설정된 속도(약 28mL/min)로 증류를 진행하였으며, 이로 인한 안정제 휘발 가능성이 존재한다.

BUCHI사 Universal Extractor E-800과 Kjel Line을 이용한 안정제 함량 분석 시험 결과값의 경우 기존 수동 추출 및 증류 시험 대비 95%의 상대 수율이 관측되었다. Universal Extractor E-800 추출 장비는 냉각관 상부 구멍(hole)으로 에탄올을 흘려 세척이 가능하다. 하지만 수동 추출 장치의 구관 냉각기와는 반대로 증류액이 나사관의 외부를 따라 흐르는 구조로 이루어져 있어 증류액이 냉각관 내부의 광범위한 부분에 퍼지게 된다. 따라서 에탄올을 흘려주더라도 냉각관 내부 벽면에 붙은 잔여물을 완벽히 회수하는 것이 제한적일 것이라고 생각된다.

수동 추출 및 증류장치는 추출 후 증류 시 사용하는 증류 플라스크(Distillation flask)가 동일하여 옮겨담을 필요가 없고, 세척이 용이하지만, 단점으로는 시험 과정 중 누수 및 화재발생 가능성 및 증류 속도 조절 불가로 인한 상시 관찰이 필요하다. 또한 증기압에 의한 시료의 역류 및 증기 누출로 인한 시험자의 화상, 냉각관 결합 및 탈착 시 유리 플라스크류 파손에 의한 절상 등의 위험이 있다.

이에 반해 자동 추출 및 증류 장비는 냉각수 유량 자동 조절 및 시료 역류 방지 장치와 함께, 보호막 탑재로 인한 발열 및 누출로 인한 위험으로부터 시험자를 보호하고, 일정한 증기 출력이 가능하여 규격 상의 증류 속도를 만족한다. 또한 터치 스크린을 통한 추출 방식 및 위치, 온도, 용매등을 설정하고 자동 시작 및 종료 가능

하여 상시 관찰이 불필요하다는 장점이 있다.

다만 자동 추출 장비의 추출컵과 증류 장비의 샘플 튜브가 호환되지 않아 추출컵의 추출액을 증류 샘플튜브로 옮겨주는 과정이 필요하다. 이 과정에서 추출액의 손실을 최소화하기 위해 에탄올 및 증류수로 추출컵 세척 후 증류 샘플튜브로 옮겨주었으나 잔여물의 완벽한 회수가 불가능하여 안정제 손실이 발생할 가능성이 있는 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 자동 추출 및 증류 장비를 도입하기 전 기존 수동 기구를 이용한 DPA 함량 시험법에 적용 가능한 지 사전 검토 연구를 수행하였다. 시험결과 안정제 함량 결과가 Set1을 사용하였을 때 수동시험 대비 약 85% 수준이었고, Set2는 약 95%의 수율을 보이는 것을 확인하였다. 약 95%수율을 보인 Set2로 대체하게 된다면, 동시간대 수행할 수 있는 시험 물량의 증대로 위험 추진제의 빠른 식별이 가능할 것으로 예상되며, 시험 시 상시관찰이 불필요하여 업무의 효율성 증대 및 화상 및 절상으로 인한 시험자의 안전사고 예방에 도움을 줄 것으로 예상된다. 본 연구에서 식별된 문제점을 활용하여 개선된 장비를 도입 후 수율 증대 및 재현성 있는 데이터를 확보하는 연구로 확대할 예정이다.

References

- [1] V. R. Pai Verneker, K. Kishore, C. B. V. Subhas, "Mechanism of thermal decomposition of double base propellants", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.8, No.3, pp.77-79, 1983.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prop.830080305>
- [2] M. L. Wolf from, J. H. Frazer, L. P. Kuhn, E. E. Dickey, S. M. Olin, "The Controlled Thermal Decomposition of Cellulose Nitrate. I, 2", *J. Am. Chem. Soc.* Vol.77, No.24, pp.6573-6580, 1955.
DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01629a045>
- [3] Jean-Jacques Jutier, Yves Harrison, Stéfane Premont, Robert E. Prud'homme, "A nonisothermal fourier transform infrared degradation study of nitrocelluloses derived from wood and cotton", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.33, No.4, pp.1359-1375, 1987.
DOI: <https://doi.org/10.1002/app.1987.070330424>
- [4] Joseph B. Levy, "The Thermal Decomposition of Nitrate Esters. II. The Effect of Additives on the Thermal Decomposition of Ethyl Nitrate", *J. Am. Chem. Soc.*, Vol.76, No.14, pp.3790-3793, 1954.
DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01643a059>
- [5] Torbjörn Lindblom, "Reactions in Stabilizer and Between Stabilizer and Nitrocellulose in Propellants", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.27, No.4, 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)
- [6] L. S. Lussier, H. Gagnon, M. A. Bohn, "On the Chemical Reactions of Diphenylamine and its Derivatives with Nitrogen Dioxide at Normal Storage Temperature Conditions", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.25, No.3, 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)
- [7] Wim P. C. de Klerk, "Assessment of Stability of Propellants and Safe Lifetimes", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.40, No.3, pp.388-393, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prop.201500040>
- [8] Marco N. Boers, Willem (Wim) P. C. de Klerk, "Lifetime Prediction of EC, DPA, Akardite II and MNA Stabilized Triple Base Propellants, Comparison of Heat Generation Rate and Stabilizer Consumption" *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.30, No.5, pp. 356-362, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1002/prop.200500026>
- [9] K. H. Cho, "A study on the self-life estimation of the propellant KM10 by using high temperature acceleration aging tests", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.11, No.5, pp.1735-1740, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.5.1735>
- [10] J. C. Lee, K. S. Yoon, Y. H. Kim, K. H. 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.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3633>
- [11] S. H. Cho, W. S. Kim, "A Study on the Reliability and Shelf-life of Smoke Pot, KM5", *Defence Quality Society*, Vol.4, No.2, pp.93-100, 2022.
- [12] US Army, "Propellants, Solid: Sampling, Examination and Testing", MIL-STD-286C, 2010.
- [13] US Army, "Propellant Management Guide", 2014.
- [14] D. S. Kim, H. M. Kim, Y. J. Sung, S. G. Kang, H. Y. Kang, et al, "Changes in Extraction Efficiency of Pine Needles depending on Extraction Method and the Condition", *Journal of Korea Technical Association of The Pulp and Paper Industry*, Vol.48, No.1, pp.93-99, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7584/ktappi.2016.48.1.093>

천 보 하(Boha Cheon)

[정회원]



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

<관심분야>

품질경영, ASRP

서 지 영(Jiyoung Seo)

[정회원]



- 2005년 2월 : 광주과학기술원
환경공학과 (환경미생물학석사)
- 2010년 2월 : 광주과학기술원
환경공학과 (환경미생물학박사)
- 2010년 3월 ~ 2012년 2월 : 한국
생명공학연구원 연구원
- 2015년 10월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 선임연구원

<관심분야>

대사물질분석, ASRP

배 만 재(Man Jae Bae)

[정회원]



- 1995년 2월 : 성균관대학교 화학
과 (이학사)
- 2004년 2월 : 부산대학교 고분자
공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 책임연구원

<관심분야>

정보경영, 품질경영