

A Study on the Shelf-Life Prediction of the Domestic Single Base Propellants Ammunition : Based on 105mm High Explosive Propellants

Myoungjin Choi*^{***} · Hyungju Park** · Jaekyung Yang***[†] · Janghyun Baek***

*Dept. of Defense and Science Techonolgy, Howon University

**Dept. of Fire Administration Service, Howon University

***Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University

국내 단기추진제 탄약의 저장수명 예측에 관한 연구 : 105밀리 고폭탄 추진체를 중심으로

최명진*^{***} · 박형주** · 양재경***[†] · 백장현***

*호원대학교 국방기술학부

**호원대학교 소방행정학과

***전북대학교 산업정보시스템공학과

Domestic 105mm HE (High Explosive) shell is composed of three parts that are Fuze, Projectile and Propellants. Among three parts, propelling charge of propellants part consists of single base propellants. It has been known that the lifespan of single base propellants is affected by a storage period. These are because Nitrocellulose (NC) which is the main component of propelling gunpowder can be naturally decomposed to unstable substances similar with other nitric acid ester. Even though it cannot be prevented fundamentally from being disassembled, a decomposition product (NO_2 , NO_3 , and HNO_3) and tranquillizer DPA (Diphenylamine) having high reactivity are added into a propellant to restrain induction of automatic catalysis by a decomposition product. The decay rate of the tranquillizer is also affected by a production rate of the decomposition product of NC. Therefore, an accurate prediction of the Self-Life is required to ensure against risks such as explosion. Hereupon, this paper presents a new methodology to estimate the shelf-life of single base propellants using data of ASRP (Ammunition Stockpile Reliability Program) to domestic 105mm HE (propelling charge of propellants part). We selected four attributes that are inferred to have influence on distribution of the DPA amount in a propellant from the ASRP dataset through data mining processes. Then the selected attributes were used as independent variables in a regression analysis in order to estimate the shelf-life of single base propellants.

Keywords : Shelf-Life, Propellant, Ammunition, Data Mining

1. 서론

현 군이 보유중인 탄약 중 단기추진제로 구성된 탄약은 주요 성분이 질산 화합물인 Nitrocellulose(NC)로 발생되는 열의 축적으로 자연발화 위험성을 내포하고 있다. 또한 장기 저장에 따른 수분, 직사광선, 열, 산성물질에 의해 자연분해 되어 NO₂, NO₃ 등의 질소산화물과 HNO₃을 생성시킨다[2, 8]. 이러한 NC의 자연분해 생성물들은 질산에스테르 분해를 촉진시키는 자동촉매반응을 유도하므로 분해반응을 더욱 가속화시키게 된다[1]. 따라서 NC의 자연분해를 지연시키기 위한 방법으로 DPA(Diphenylamine), EC(Ethylcentralite) 등의 유기안정제와 NaCO₃, CaCO₃, NaHCO₃ 등의 무기안정제를 첨가하여 분해반응에 의해 생성된 질소산화물을 고정시켜 산화작용을 방지함으로써 자동촉매반응을 억제할 수 있게 된다. 유·무기안정제 중 무기안정제는 복기 추진제에만 효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 유기안정제의 일종인 DPA는 주로 단기 추진제의 안정제로 많이 사용되고 있다[5]. DPA의 한 분자는 NC에서 분해되는 질소산화물과 최대 6개의 NO₂ 분자와 반응할 수 있어 효과적으로 추진제의 자연분해 반응을 억제할 수 있으며, 이 반응은 질소산화물의 결합위치 및 결합개수에 따라 다양한 유도체를 생성시킨다[10]. Lindner에 의하면 유도체 중 2개 이하의 질소산화물과 결합한 중간유도체는 추진제의 분해반응을 억제하는 유효한 안정제로 역할을 하며, 이보다 많은 질소산화물과 결합된 유도체는 안정제로서의 역할은 하지만 그 효과는 미미한 것으로 보고하고 있다[9]. 단기추진제의 DPA 안정제는 함량이 2%에 이르기까지는 함량증가에 따라 안정화 효과가 증대되나 이를 초과하면 오히려 안정도가 감소하는 경향이 있어 1.0%~1.5% 정도 첨가하여야 한다[1].

단기추진제의 안정제로 사용되는 DPA는 저장기간, 저장환경 등에 따라 NC와의 반응에 의해 자연 감소됨에 따라 저장 안정성이 저하되어 예기치 못하는 시기에 추진제를 폐기하게 되고, 추가 예산 확보 및 탄약 획득 등에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 현 군에서는 탄약에 대한 총 수명주기체계관리(TLCSM : Total Life Cycle System Management)를 실시하고 있다. 그러나 장기 저장탄약에 대한 신뢰성 확보를 위한 검사정비 및 처리탄 소요 증가의 문제점이 나타나고 있어, 단기추진제의 저장수명을 예측하는 것이 매우 중요한 요소로 대두되고 있다[3]. 따라서 단기추진제의 저장수명을 정확하게 예측할 수 있다면 단기추진제로 구성된 탄약의 자연발화에 의한 위험예방 및 무기체계의 획득, 생산, 운용유지, 사용 등이 적절한 시점에서 수행될 수 있기 때문에 불필요한 낭비들을 막음으로써 인적, 물적 비용 절감 효과를 기대할 수 있다[7].

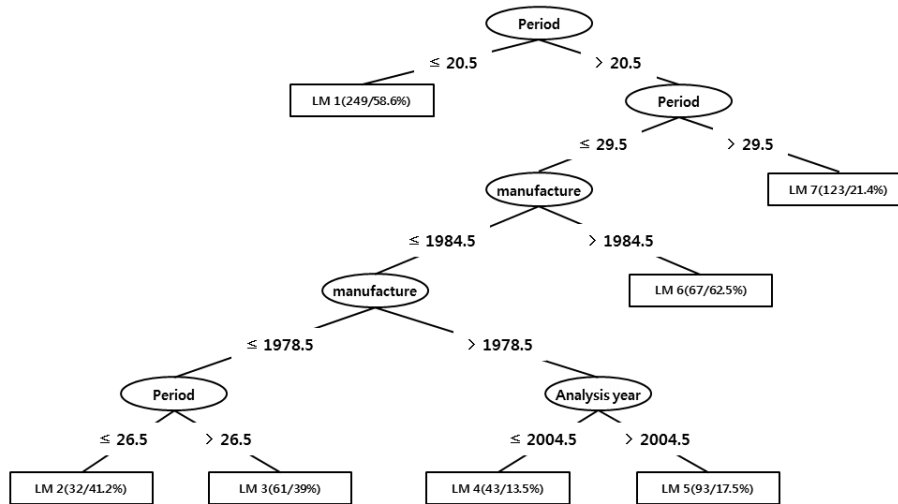
이에 본 연구에서는 단기추진제로 구성된 국내 105mm 리 고평탄(KM1)의 저장탄약 신뢰성 평가(ASRP : Ammunition Stockpile Reliability Program) 자료를 활용하여, 단기추진제로 구성된 탄약의 저장수명과 관련된 속성을 찾고, 분석된 결과를 토대로 단기추진제의 저장수명을 예측하여 신뢰성 확보에 기여하고자 하였다.

2. 저장탄약 신뢰성평가(ASRP) 자료 분석

저장탄약 신뢰성 평가(ASRP)는 저장탄약의 성능유지와 수명주기 판단을 위하여 주기적인 검사, 기능시험, 탄도 성능시험, 저장분석시험을 실시하여 안전성, 사용가능성 및 신뢰성을 수리 통계적으로 분석 평가하여 계속 사용 여부, 개수, 폐기 등을 판단하고 수명 특성 체계를 연구하는 일련의 업무이다. 이는 국방예산을 절감하고자 하는 탄약분야 총 수명주기관리(TLCSM) 기법의 대표적인 활동이다[6]. 이러한 활동은 현재 000의 기관 및 0000부대에서 병행 실시 중에 있으며, 000부대에서는 저장분석시험을 통해 저장탄약 신뢰성 평가를 실시하고 있다. 본 연구에서는 000부대로부터 획득한 저장탄약 신뢰성 평가 결과 자료를 통해서 안정제 함량과 저장기간 또는 그 외 다른 속성과 어떠한 관계를 가지고 있는지 분석을 실시하였다. 제공받은 자료는 2003년부터 2012년까지 국내 105mm 리 고평탄(KM1)의 단기추진제(추진장약) 부분에 대한 ASRP 결과이다. 이 자료의 레코드 수는 668개, 자료 속성은 생산연도(Manufacture_Year), 분석 연도(Analysis_Year), 저장기간(Storage_Period), 안정제 함량(DPA)이다. 자료분석은 데이터마이닝 툴(Weka)을 활용하였다.

먼저, 종속변수로 선정한 안정제함량 속성을 클래스(Class)로 하여 수치(Numeric) 데이터의 분류화(Classification)를 M5 Pruned model를 사용하여 실시한 결과 <Figure 1>과 같으며, 이때 상관계수(Correlation coefficient)는 0.8915, 평균오차(Mean absolute error)는 0.0884이었다. 첫 루트 노드(Root Node)는 저장기간 속성에 의해 분할되었으며, 많은 선형모델인 쪽으로 루트 노드에서 왼쪽, 나머지는 오른쪽으로 나뉘어졌으며, 분할된 의사결정 나무(Decision tree)는 총 7개의 가지(Leaf Node)들을 가지게 되었다.

처음 루트 노드에서 저장기간이 20.5년을 기준으로 분할되었으며, 2단계에서는 20.5년 초과된 인스턴스(Instances)를 다시 29.5년을 기준으로 분할되었다. 3단계에는 20.5 < 저장기간 ≤ 29.5년 인스턴스를 제조연도 1984.5년을 기준으로 분할되었다. 4단계는 제조연도 1984.5년 이하 인스턴스를 다시 1978.5년으로 분할되고, 마지막으로 저장기간 및 분석연도로 분할되어 종료되었다.



<Figure 1> M5 Pruned Decision Tree Model

이와 같이 안정제 함량분포 데이터를 클래스로 선택하여 수치데이터를 분류화한 결과, 저장기간과 생산연도에 의해 구간화 및 분할이 이루어졌다. 이는 안정제 함량분포가 2개 속성(저장기간 및 생산연도)과 상호 연관성이 있다고 판단된다.

이처럼 안정제 함량 분포속성과 상호연관성이 있는 속성을 찾고 속성간의 관계를 파악하기 위해서 속성간의 관계를 평가하였다. 속성간의 평가방법은 CFS(Correlation-based Feature Selection)와 Wrapper 방법을 사용하였다. 이때 서치 메소드(Search Method)는 베스트 퍼스트(Best First), 랜덤 검색(Random Search), 유전자 검색(Genetic Search : Population size = 20, Number of generations = 20, Probability of crossover = 0.6, Probability of mutation = 0.033) 방법을 사용하였다. 속성간 평가 결과는 <Table 1>과 같다.

속성간의 관계를 평가한 결과 안정제 함량 분포 속성은 앞서 수치데이터의 분류화한 결과와 유사하게 속성

<Table 1> Evaluation of Attributes

	CFS			Wrapper
	Best First	Random Search	Genetic Search	Random Search
Merit of best subset found	0.856	0.837	Subset Merit 0.856	0.267
Selected Attribute	S. Period	A. Year S. Period	Subset (M. Year, A. Year)	A. Year S. Period

선택(Selected Attribute)이 되었다. 즉, 생산연도(M. Year)와 저장기간(S. Period)이 관련성이 있는 것으로 분석되었다. 여기서 분석연도(A. Year)는 저장기간을 산출하기 위한 기준자료로 속성 평가간 결과는 의미가 없다.

다음은 앞서 데이터 분류화 및 속성간 평가 결과를 비교 분석하기 위해 자료 속성간 적합도 평가를 실시하였다. 적합도 평가는 군집화(EM 알고리즘 활용)를 통해서 평가하였으며, 그 결과는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Results of EM Algorithm

		Cluster 0 (0.26)	Cluster 1 (0.13)	Cluster 2 (0.11)	Cluster 3 (0.15)	Cluster 4 (0.13)	Cluster 5 (0.21)
M. Year	Mean	1985.924	1978.062	2003.079	1987.198	1979.145	1978.461
	Std. dev.	2.3279	1.0152	1.7753	2.0202	1.5043	1.2091
DPA	Mean	0.5195	0.4253	1.007	0.8245	0.3029	0.3468
	Std. dev.	0.1978	0.1111	0.0623	0.1377	0.0497	0.0857
A. Year	Mean	2007.163	2004.064	2006.382	2003.144	2011.461	2007.066
	Std. dev.	2.4371	0.6725	2.1519	0.3512	0.641	1.1687
S. Period	Mean	21.239	25.0023	3.3026	15.9463	32.3164	28.6039
	Std. dev.	2.9511	0.9723	2.3898	2.0029	1.5764	1.5025
Instances		175	87	76	103	89	138
Log likelihood		-6.31741					

<Table 3> Results of Apriori Algorithm

Rank	Rule
1	manufacture = '(1983.9-1987.2]' period = '(14.6-18]' 77 → analysis_year = '(-inf-2004]' 75 conf: (0.97)
2	analysis_year = '(-inf-2004]' period = '(14.6-18]' 83 → manufacture = '(1983.9-1987.2]' 75 conf: (0.9)
3	manufacture = '(1983.9-1987.2]' analysis_year = '(-inf-2004]' 88 → period = '(14.6-18]' 75 conf: (0.85)
4	period = '(14.6-18]' 100 → analysis_year = '(-inf-2004]' 83 conf: (0.83)
5	period = '(24.8-28.2]' 166 → manufacture = '(1977.3-1980.6]' 130 conf: (0.78)
6	period = '(28.2-31.6]' 86 → manufacture = '(1977.3-1980.6]' 67 conf: (0.78)
7	period = '(14.6-18]' 100 → manufacture = '(1983.9-1987.2]' 77 conf: (0.77)
8	period = '(14.6-18]' 100 → manufacture = '(1983.9-1987.2]' analysis_year = '(-inf-2004]' 75 conf: (0.75)

EM알고리즘을 활용하여 군집화한 결과 6개의 클러스터(Cluster)가 생성되었다. 이중 군집도 비율이 높은 클러스터는 0.5번이며, 그 외 클러스터는 유사한 비율로 군집화가 이루어졌다. 가장 높은 비율을 차지하고 있는 0번 클러스터는 생산연도가 1985년, 저장기간이 21년, 안정제 함량 분포가 0.5%를 중심으로 군집화가 이루어졌다. 이를 안정제 함량과 관련성 있는 속성선택 및 데이터 분류화 결과와 비교 분석하면, 1985년에 생산된 탄약 중 저장기간이 21년이면, 안정제 함량분포는 0.5% 정도라고 추측할 수 있다. 클러스터 5번 또한 1978년에 생산된 탄약 중 저장기간이 28년이 지나면 안정제 함량분포가 0.3% 정도라고 추측할 수 있다. 즉, 생산연도, 저장기간이 안정제 함량 분포에 연관성이 있다고 특성(Attribute)을 파악 할 수 있었다.

마지막으로 속성간의 연관규칙이 있는지 확인하기 위해 Apriori 알고리즘을 사용하여 연관분석을 실시하였다. 이를 위해 각 속성별 구간화는 이산화(Discretize) 알고리즘(Unsupervised)을 사용하여 각 속성에 대해 10개 구간으로 분할하여, 연관규칙 분석을 실시한 결과는 <Table 3>과 같다.

신뢰도 70% 이상의 연관 규칙을 찾아본 결과 8가지의 연관규칙이 생성되었으며, 생산연도와 저장기간과의 연관성이 높은 것으로 분석되었다.

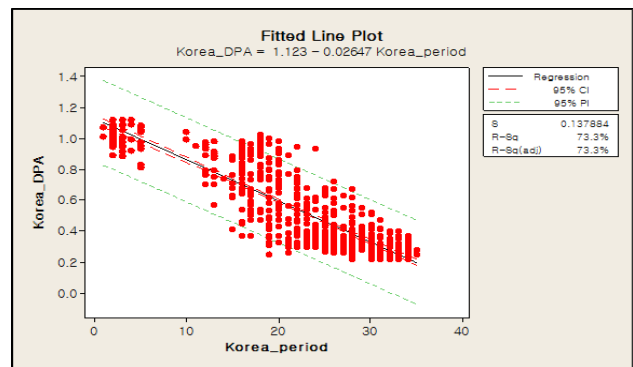
위와 같이 저장 탄약 신뢰성평가 결과 데이터를 활용하여 데이터 분류화, 데이터 속성간의 평가, 군집화 및 연관규칙 분석을 실시한 결과 2가지 속성 즉, 생산연도 및 저장기간 속성이 안정제 함량분포와 관련성이 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 이에 안정제함량 속성을 종속변수, 저장기간 속성을 독립변수로 활용하고, 생산연도별로 분류화하여 단기추진제의 저장수명을 추정한다.

3. 저장수명 추정

안정제 함량 속성을 종속변수(Y)로 하고 저장기간을 독립변수(X)로 하여 전체 데이터를 단순 회귀분석을 실시한 결과 <Figure 2>와 <Table 4>와 같다. 여기서 종속

변수 Y는 저장기간 X년 경과 후 잔류 안정제의 함량(%)이며, X는 저장기간(년)이다.

추정된 회귀선의 유의성 검증 결과 유의수준 5%($\alpha = 0.05$)에서 유의한 것으로 나타나 단기추진제의 잔류안정제 함량과 저장기간과의 관계를 선형함수로 적절히 표현하고 있음을 나타내고 있으며, 회귀선에 의해 설명되는 량의 결정계수는 73.3%로 추정된 회귀선이 실제 관측치를 대표하여 그 적합성을 보여주고 있다. 일반적으로 결정계수 값의 크기에 대해서 자연과학 및 공학 등에서는 70%, 사회과학에서는 30% 이상을 추천하고 있으며, 표본의 크기에 따라 결정계수 값의 기준은 상이하대[4]. 이와 같이 추정된 회귀선을 활용하여 잔류안정제 함량의 한계수명 기준인 0.3%에 도달하는 시간을 추정하면 약 31년이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 EM 알고리즘 결과 클러스터 4번과 유사한 결과를 보이고 있다.



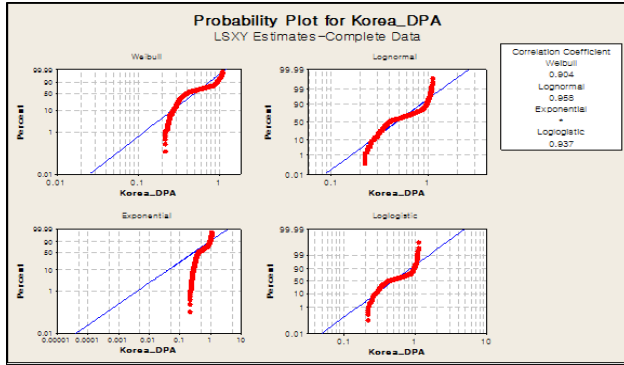
<Figure 2> DPA Contents (%) with Stockpile Period

<Table 4> Regression Analysis

Regression Equation	Pearson Correlation	P-Value	R-squared
Y = 1.123-0.02647X	-0.856	0.000	73.3%

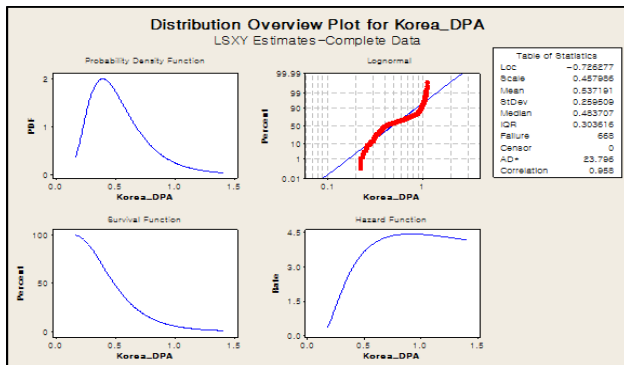
또한 안정제 함량분포 0.3% 시점의 추정된 수명(31년)에 대한 신뢰도를 분석하기 위해 안정제 함량 분포에 대해

특정한 확률분포를 가정하지 않고 “Minitab 16”을 활용하여 수명분포를 추론해 본 결과 <Figure 3>과 <Figure 4>와 같다.



<Figure 3> Probability for DPA Contents(%)

<Figure 3>과 같이 안정제 함량 분포에 대해서 와이블(Weibull), 대수정규분포(Lognormal), 지수분포(Exponential), 로그함수 분포(Loglogistic)에 대해 각각 상관관계 및 확률을 분석해 본 결과 대수정규 분포(Correlation Coefficient = 0.958)가 가장 적합한 것으로 추정되었다. 이때 <Figure 4>과 같이 location(μ) = -0.726277이고, scale(δ) = 0.457986이다. 이를 근거로 잔류 안정제 함량 0.3% 시점의 수명추정 기간 ($t = 31$ 년)에 대한 신뢰도를 분석하면 다음과 같다.



<Figure 4> Distribution for DPA Contents(%)

- 확률밀도함수

$$f(t) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0.4580t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\ln t - (-0.7263)^2}{2 \times 0.4580^2}}$$

- 누적분포함수

$$F(t) = \phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right) = \phi\left(\frac{\ln t - (-0.7263)}{0.4580}\right)$$

여기서 ϕ 는

$$\phi = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

- 신뢰도 함수

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right) = 1 - \phi\left(\frac{\ln t - (-0.7263)}{0.4580}\right) = 0.8515$$

즉, 잔류 안정제 함량 분포 0.3% 시점까지 저장기간을 약 31년으로 추정한 것에 대한 신뢰도 분석 결과 $R(t) = 85.15\%$ 로 높게 나타나 수명추정에 대해서 신뢰할 수 있다. 이와 같이 잔류 안정제 함량 속성을 종속변수(Y)로 하고, 저장기간을 독립변수(X)로 하여 단순 회귀분석을 실시한 결과 유의수준 범위 내에서 선형함수로서 적절히 표현되었고, 선형함수로부터 추정한 수명기간도 신뢰할 만한 결과를 도출하게 되었다.

다음과 같이 동일한 방법으로 제 2절에서 실시한 데이터 분류화 및 군집화 결과를 근거로 데이터를 분류화 하여 각각 회귀분석 및 신뢰도 분석을 실시한 결과 <Table 5>과 <Table 6>와 같다. 데이터 분류화는 먼저 저장기간이 21년 전·후, 생산연도 1985년 전·후로 분류하였으며, 이중 저장기간이 21년 초과된 자료는 다시 생산연도를 1985년 전·후로 분류하여 분석을 실시하였다. 또한 데이터 분류화의 의사결정 트리 구조 및 군집화 결과자료를 분석한 결과 저장기간이 21년 초과 30년 이하 및 생산연도 1978 이하의 데이터가 의미 있는 결과를 보여주고 있어 추가적으로 세분화하여 회귀분석 및 신뢰도 분석을 실시하였다. 마지막으로 군집화 결과의 데이터를 활용하였다. <Table 5>와 같이 잔류 안정제 함량 속성을 종속변수로 하고 생산연도, 저장기간을 독립변수로 하여 회귀분석을 각각 실시 및 추정한 결과 단기추진제의 저장수명은 최소 26년~최대 36년까지 추정이 되었다. 위 회귀분석 결과 중 P-Value < 유의수준 5% ($\alpha = 0.05$)에서 유의하고, 단기추진제의 잔류 안정제 함량과 각 독립변수와의 관계를 선형함수로 표현할 수 있으며, 회귀선에 의해 설명되는 량의 결정계수가 70% 이상으로 검증되는 회귀선은 전체 데이터를 활용한 회귀분석결과라고 할 수 있다. 즉, 회귀선 “ $Y = 1.1230 - 0.026470X$ ”이며, P-Value = 0.000, 결정계수가 73.3%로 국내에서 생산한 단기추진제 탄약에 대한 잔류안정제 함량과 저장기간간의 회귀분석 결과라 할 수 있다. 또한 이 회귀선을 활용하여 잔류 안정제 함량 0.3% 시점의 수명추정에 대한 신뢰도 분석결과 85.15%로 신뢰할 수 있는 결과를 보여주고 있다. 따라서 국내에서 생산한 단기추진제로 구성된 105미리 고평탄(KM1)의 잔류 안정제 함량과 저장기간간의 회귀분석 통해서 단기추진제의 저장수명추정이 적합하다고 판단된다. 이 회귀선을 통해서 안정제 함량 0.3% 이하 시점이 되는 저장기간은 약 31년으로 추정할 수 있다. 즉, 이를 기준으로 국내에서 생산한 단기추진제의 저장수명은 31년으로 예측이 가능하다.

<Table 5> Regression Analysis

		Regression Equation	Pearson Correlation	P-Value	R-squared	storage time (DPA 0.3%)
Total		$Y = 1.1230 - 0.026470X$	-0.856	0.000	73.3%	31.09
Storage Period(Year) ≤ 21		$Y = 1.087 - 0.02160X$	-0.658	0.000	43.3%	36.44
Storage Period(Year) > 21		$Y = 0.8417 - 0.01694X$	-0.509	0.000	25.9%	31.98
Production Year ≤ 985		$Y = 1.079 - 0.02508X$	-0.661	0.000	43.7%	31.06
Production Year > 1985		$Y = 1.106 - 0.02425X$	-0.754	0.000	56.9%	33.24
21 years Over (Storage Period)	Production Year ≤ 985	$Y = 0.8152 - 0.01601X$	-0.507	0.000	25.7%	32.18
	Production Year > 1985	$Y = 1.772 - 0.05616X$	-0.517	0.003	26.8%	26.21
21 < Storage Year ≤ 0	Production Year ≤ 978	$Y = 1.409 - 0.03646X$	-0.472	0.000	22.3%	30.42
	1978 < Production Year ≤ 985	$Y = 0.8238 - 0.01700X$	-0.405	0.000	16.4%	30.81

<Table 6> Reliability Analysis

		F(t)	f(t)	R(t)	%
Total (Lognormal)		$\phi\left(\frac{Int - (-0.7263)}{0.4580}\right)$	$\frac{1}{0.4580t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-0.7263)^2}{2 \times 0.4580^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-0.7263)}{0.4580}\right)$	85.15
Storage Period(Year) ≤ 21 (Weibull)		$1 - e^{-\left(\frac{t}{0.8826}\right)^{3.7659}}$	$4.2668\left(\frac{t}{0.8826}\right)^{3.7659-1} \times e^{-\left(\frac{t}{0.8826}\right)^{3.7659}}$	$e^{-\left(\frac{t}{0.8826}\right)^{3.7659}}$	98.30
Storage Period(Year) > 21 (Lognormal)		$\phi\left(\frac{Int - (-1.0235)}{0.2709}\right)$	$\frac{1}{0.2709t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-1.0235)^2}{2 \times 0.2709^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-1.0235)}{0.2709}\right)$	74.74
Production Year ≤ 985 (Lognormal)		$\phi\left(\frac{Int - (-0.9707)}{0.3265}\right)$	$\frac{1}{0.3265t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-0.9707)^2}{2 \times 0.3265^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-0.9707)}{0.3265}\right)$	76.25
Production Year > 1985 (Weibull)		$1 - e^{-\left(\frac{t}{0.8628}\right)^{3.4193}}$	$3.9630\left(\frac{t}{0.8628}\right)^{3.4193-1} \times e^{-\left(\frac{t}{0.8628}\right)^{3.4193}}$	$e^{-\left(\frac{t}{0.8628}\right)^{3.4193}}$	97.34
21 years Over (Storage Period)	Production Year ≤ 985 (Lognormal)	$\phi\left(\frac{Int - (-1.0356)}{0.2600}\right)$	$\frac{1}{0.2600t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-1.0356)^2}{2 \times 0.2600^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-1.0356)}{0.2600}\right)$	74.14
	Production Year > 1985 (Lognormal)	$\phi\left(\frac{Int - (-0.8739)}{0.3674}\right)$	$\frac{1}{0.3674t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-0.8739)^2}{2 \times 0.3674^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-0.8739)}{0.3674}\right)$	81.55
21 < Storage Year ≤ 0	Production Year ≤ 978 (Lognormal)	$\phi\left(\frac{Int - (-0.9737)}{0.2993}\right)$	$\frac{1}{0.2993t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-0.9737)^2}{2 \times 0.2993^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-0.9737)}{0.2993}\right)$	77.92
	1978 < Production Year ≤ 985 (Lognormal)	$\phi\left(\frac{Int - (-0.9621)}{0.2012}\right)$	$\frac{1}{0.2012t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Int - (-0.9621)^2}{2 \times 0.2012^2}}$	$1 - \phi\left(\frac{Int - (-0.9621)}{0.2012}\right)$	88.54

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 단기추진제의 자연노화에 따른 장기저장탄약에 대한 신뢰성 확보 즉, 단기추진제 탄약의 저장수명 예측을 위해 단기추진제로 구성된 105mm 고폭탄(KM1)의 저장탄약 신뢰성 평가 자료를 통해서 단기추진제의 저장수명을 예측하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 잔류 안정제 함량 분포가 저장기간 또는 그 외 다른 속성과 영향을 가지고 있는지 분석을 실시하여, 잔류 안정제함량 속성과 제조연도 및 저장기간 속성이 연

관성이 있다고 확인했다.

둘째, 잔류 안정제함량 속성을 종속변수로 두고 제조연도 및 저장기간 속성을 독립변수로 활용하여 각각 회귀분석 및 신뢰도 분석한 결과 국내에서 생산한 단기추진제 탄약에 대한 잔류 안정제 함량과 저장기간 간의 회귀분석결과가 가장 유의하다고 검증하였으며, 이 회귀선을 통하여 잔류 안정제 0.3% 시점에서의 단기추진제의 저장수명은 31년으로 예측하였다.

향후에는 안정제 감속속도에 대한 최적반응 모델을 결정하고 저장수명을 예측함으로써 보다 현실적인 결과를

열도록 노력해야 할 것이다. 또한 본 연구에서와 같이 저장 수명을 예측하고 예측한 결과를 토대로 저장안정성 평가 시기, 탄약의 보급 및 사용 계획과 장기적인 조달계획을 수립하여 탄약의 신뢰성을 확보하고 폐기비용을 절감 하는 등 저장탄약의 신뢰성을 향상시키는 노력이 요구된다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by a Research Fund of Howon University, Korea.

This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(2011-0008995).

References

- [1] Cho, K.H. and Chang, I.H., A Study on the Effect of Storing Temperature upon the Self Life of Propelling Charge K676 and K677. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 2005, Vol. 8, No. 1, p 14-24.
- [2] Cho, K.H. and Kim, E.Y., Life Expectancy Estimation of the Propellants KM10 using high Temperature Acceleration Aging Tests and Stockpile Analysis Test. *Korean Chem. Eng. Res.*, 2010, Vol. 48, No. 6, p 695-699.
- [3] Choi, M.J., Park, H.J., and Yang, J.K, A Study on Cost Analysis for a the Period of A-TLC(Ammunition-Total Life Cycle), Republic of Korea Army, 2013.
- [4] Cohen, J., *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd Ed.), Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.
- [5] Go, S.-I. and Go, H.-S., A Study on the Self-Life Estimation of Combustible Cartridge Cased Propelling Charge K675 for 81mm Mortar. Defense Quality Assurance Agency, 1996, p 3-12.
- [6] Instructions from the Department of Defense for ASRP (Ammunition Stockpile Reliability Program), 2012.
- [7] Lee, J.C., Yoon, K.S., Kim, Y.H., and Cho, K.H., A Study on the Shelf-life Prediction of the Single Base Propellants Using Accelerated Aging Test. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2007, Vol. 35, No. 2, p 45-52.
- [8] Levy, J.B., Thermal Decomposition of Nitrate Esters. II. The Effect of Additives on The Hermal Decomposition of Ethyl Nitrate. *The journal of American Chemical Society*, 1954, Vol. 76, No. 14, p 3790-3793.
- [9] Lindner, V., Explosives-propellants Theory and Practice, VOL, U.S. *Army Armament Research and Development Command*, 1978, p 228-301.
- [10] MIL-STD-652D, "Solid Propellants for Cannons Requirement and Packing," US. Army, 1983, p 17-18.