

소량 불연속 데이터 기반의 저장탄약 품질예측에 관한 사례 연구

안남수*·김재웅·김민수·이종길
(육군사관학교)

《국문초록》

일반적으로 탄약은 생산 후 장기간 보관된 후 사용하므로 주기적으로 일정량의 탄약을 불출하여 신뢰성 평가를 시행하고 있다. 하지만 여건상 실험 시료의 수는 매우 적으며, 실험 주기 역시 불규칙한 실정이다. 따라서 평가주기 및 평가결과에 대한 해석을 위해 많은 연구가 진행되었으며, 특히 저장 탄약의 안정제와 제조연도 간의 상관관계를 통한 회귀분석이 많이 사용되었다. 하지만, 이러한 방식의 신뢰성 추정은 로트내 탄약의 품질특성이 모두 같다는 가정과 다른 품질 열화 요소는 무시하고 신뢰성 추정을 한다는 점에서 한계가 존재한다. 따라서 본 연구는 저장 탄약의 신뢰성 평가를 위한 새로운 프레임워크를 제안하고자 하고자 하며, 이는 마코브 체인 분석과 베이지안 이론에 근거를 두고 있다. 마코브 체인 분석은 로트내 탄약의 상태가 다를 수 있으며, 시험 주기가 일정치 않다는 점을 반영할 수 있다. 또한, 베이지안 이론은 실험횟수가 적으며 사전지식을 이용할 수 있다는 장점이 존재한다. 우리는 제안한 프레임워크의 실효성을 검증하기 위해 기존 논문의 실험 자료를 활용해 결과를 제시하였다.

주제어 : 저장탄약신뢰성 프로그램, 마코프체인 분석, 베이지안 이론, 수명주기 예측

I. 서론

탄약은 대부분 생산 직후 보관에 들어가며 저장하는 과정에서 시간이 지남에 따라 성능이 지속해서 저하된다. 또한, 저장과정에서 저장 탄약고의 온도 및 습도 변화 때문에 금속 부품의 부식 및 폭약의 물리적·화학적 변화가 발생한다. 따라서 규정된 주기에 의해 저장 탄약에 대한 사용 가능성, 안전성, 신뢰성, 성능 등에 대해 평가를 시행하고, 필요시 결함탄약에 대해서는 정비를 시행한다 (DoD, 2017). 신뢰성 평가는 로트 단위로 실시하며, 그 결과는 계속 저장 및 사용, 불출, 검사 필요, 정비 대상, 불출 중지, 폐기 등으로 나뉜다. 정비는 크게 두 가지로 나뉘는데 재도색/재포장 등 탄약 보존조치를 취하는 정상정비와 사용불가 부품 등의 수리·교환으로 탄약을 원상 복구하는 개수정비이다 (Lee, 2010). 이중 탄의 구성품 별 장기저장 특성 및 결함·위험요소를 나타내면 아래와 같다.

Table 1. Long-Term Storage Characteristics and Defects / Hazards of Ammunition by Component (Lee, 2010)

Classification	Long-term storage characteristics	Defect/Hazards Factors
Fuse	A change with the passage of time (blasting agents)	Misfire at impact, Blown in half, Poor delay time
Warhead	corrosion, crack	Performance defect Early explosion
Detonator	A change with the passage of time (detonator powder) Corrosion of detonator cup	Inability to launch Delayed launch
Propellant	A change with the passage of time and natural decomposition	Speed of ammo / Range shortfall Spontaneous Combustion and explosion
Guided Missile	Shape change of propellant Separated liner and propellant	Unstable flight Early explosion

또한, 탄을 하나의 시스템으로 본다면 시스템의 신뢰도는 3가지 서브 시스템인 기계류, 전기/전자류, 추진장약류의 곱으로 표현할 수 있다.

$$R_{\text{시스템}} = R_{\text{기계류}} \times R_{\text{전기/전자류}} \times R_{\text{추진장약류}} \quad (1)$$

현재 방위사업관리규정(DAPA, 2018) 제641조(대군지원 및 사후관리)에 의하면 국방기술품질원(이하 기품원)은 각 군, 국방과학연구소 또는 업체와 협조하여 각 군에 저장 중인 탄약과 화생방물자의 사용 가능성, 안전성, 신뢰성 및 성능을 평가하여 장기저장품목 신뢰성 평가 업무를 수행하게

되어있다. 이후 결과를 국방부 사업관리본부 및 각 군에 통보하게 되어있다. 하지만, 장기저장 탄약에 관해 규정된 신뢰성 평가의 주기를 준수하여 업무를 수행하기에는 현재 너무나 많은 물량이 적체되어 있으며, 규정된 시험주기 역시 우리 군의 현실과 괴리가 있다는 지적이 많다. 따라서 적절한 수명예측 모델을 개발하여 저장 중인 탄약의 수명을 예측할 수 있다면 우리 군의 경제적인 운용에 크게 이바지할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 저장 탄약의 상태가 점차 열화되어 간다는 현상의 반영과 실제 저장 탄약의 수명을 예측하기 위한 실험은 매우 소량의 데이터에 대해 일정하지 않은 주기로 이루어진다는 현실을 반영한 저장 탄약의 품질을 예측하기 모델을 제시하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 저장 신뢰성 평가 업무수행 절차와 기존 저장 탄약 수명을 예측하기 위한 연구들을 살펴보며, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 수명예측 방법론을 적용하기 위한 마코브 이론과 베이지안 이론에 대해 간단히 살펴보기로 한다. 4장에서는 3장에서 언급한 두 가지 이론을 토대로 저장 탄약의 수명을 예측하기 위한 통합 방법론을 제시하고 기존의 실험결과를 토대로 본 연구에서 제안하는 프레임워크를 적용하여 저장 탄약의 수명을 예측해 보기로 한다. 마지막 5장에서는 본 연구의 성과를 요약하고 향후 연구 방향에 대해 논하고자 한다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 조사

2.1 관련 규정 조사

저장 신뢰성 평가 업무 요령(DTaQ, 2018)에 따르면 저장 탄약의 신뢰성 평가 업무는 크게 5가지, 일반검사, 시험장 성능시험, 저장분석시험, 약작용 조사 및 분석, 수명평가 기법으로 구분하여 실시하게 되어있다.

Table 2. Reliability assessment of storage ammunition (DTaQ, 2018)

Classification	Explanation
General inspection	After taking samples at random, follow the inspection procedure and focus on visual inspection
Performance test at the test site	Conducted performance tests of launch ammunition in cooperation with DTaQ test site or ADD and Military Base
Storage analysis test	Perform safety-oriented tests in chemical laboratories
Investigation and analysis of malfunction	Identification of the cause of the malfunction and measures, classification result is classified as defect, specification and technical data insufficient, use defect, unknown cause
Life evaluation technique	Development agency reflects R & D plan

4 선진국방연구 제2권 제1호

또한, 각 품류(직사포탄/무반동 총탄, 유도탄, 추진장약/화학탄, 신관/조명탄, 곡사포탄/박격포/로켓탄, 함포탄/수중탄, 소구경탄 등)별로 최초시험 연수와 차후 시험 연수가 명기되어 있다. 시험은 크게 비기능 시험, 기능시험과 저장 안전성 시험으로 나뉘고 비기능 시험의 결과는 1, 2, D 등급, 기능시험의 결과는 A, B, D 등급, 마지막으로 저장 안전성 시험의 결과는 A, C, D 등급으로 나뉜다. 각 등급의 의미는 아래 표와 같다.

Table 3. Grades of functional and non-functional tests (DTaQ, 2018)

Function (non-function)	Explanation
A(1)	Good quality and still available
B(2)	Limited use due to degraded characteristics
D(D)	Safety hazards and fatal flaws

Table 4. Rating of storage safety test (DTaQ, 2018)

Storage safety	Storage period	Content(%)
A	Continue storage	0.3 or more
C	Should be consumed in a year	0.2 ~ 0.29
D	Should be dispose in 60 days	Less than 0.2

비기능 시험, 기능시험, 저장안전성 시험 이렇게 세 가지 시험의 결과는 안전성, 사용 가능성, 경제성, 품목특성, 군 운용개념 등을 종합적으로 고려하여 로트에 대해 탄약상태 등급을 부여하게 된다. 탄약상태 등급은 총 9가지이며, CC-A(계속 저장 및 사용), CC-B(조건부 불출), CC-C(우선 불출), CC-D(특별검사 요), CC-E(정상정비 대상), CC-F(개수정비 대상), CC-J(임시 불출정지), CC-H(폐기 대상탄), CC-N(긴급 전투시 사용가능) 등으로 나뉜다.

본 연구에서는 탄약상태 등급이 실제 탄약의 품질상태에 따라 구분된 것이 아니라 소요군의 사용환경 및 필요에 따라 구분되었다는 점을 고려하여, 로트 내 탄약의 상태에 따라 정상(사용 가능), 정비필요, 폐기 등 3단계로 등급을 나누는 것을 제안한다.

2.2 관련 선행연구 조사

저장 탄약의 수명을 예측하기 위한 기존의 연구방법론은 크게 두 가지로 나뉘 볼 수 있다. 첫 번째는 예측하고자 하는 종속변수와 종속변수 값에 영향을 미친다고 판단되는 독립변수와의 상관관계를 표현하는 회귀분석을 통한 수명예측이고, 두 번째는 제품의 특성에 따라 수립된 수명 열화 모

델을 기반으로 실험을 통한 열화 모델의 상수를 예측한 후, 최종적으로 수명을 예측하는 방법이다. 본 장에서는 각 연구방법론의 한계에 대해 논하고자 한다.

회귀분석을 사용하여 저장 탄약의 수명을 예측하는 방법론은 절차의 단순함 및 결과의 효과성으로 인해 널리 사용되고 있다. 하지만 저장 탄약의 수명에 영향을 주는 열화인자, 즉 독립변수를 무엇으로 식별하고 선정하는 것이 타당한지를 확인하기는 쉽지 않은 일이다. 기존 연구(Yoon, 2009; Yoon & Lee, 2012)는 회귀분석으로 저장 탄약의 수명을 예측하였는데, Yoon(2009)의 연구에서는 저장연도를 독립인자로 간주하고 추진제의 잔여 안정제 함량을 종속변수로 표현하는 회귀식을 개발하였다. 그리고 회귀분석을 통해 규격에서 요구하는 안정제 함량의 한계 기준(0.3%)에 도달하는 시점을 추정하였고 해당 식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 KD541 \text{ 추진장약 안정제 함량} &= 1.069 - 0.01877 \times \text{저장연도} \\
 KD676 \text{ 추진장약 안정제 함량} &= 1.012 - 0.01754 \times \text{저장연도}
 \end{aligned}$$

하지만 탄약의 저장수명이 안정제의 함량으로만 판단할 수 있는지와 제조연도 이외 다른 인자에 의한 안정제 함량의 영향 여부에 대해서는 추가 분석이 필요하다고 판단된다. 또한, 논문에서 획득한 데이터는 특정 시점에만 물리는 경우가 발생하였는데, 이 데이터들을 통해 회귀분석을 수행하고 저장연도를 추정하는 것이 타당한지에 대한 의문 역시 제기되는 형편이다.

또 다른 형태의 저장탄약 수명을 예측하는 방법으로는 기존에 연구된 열화 모델을 활용하여, 해당 열화 모델의 상수를 실험을 통해 예측하고, 완성된 모델을 통해 수명을 예측하는 방법이다 (Lee et al., 2007; Cho & Kim, 2010). 대표적인 모델로는 나토(NATO) 국방표준국에서 작성한 표준규격서 STANAG 4527과 AOP-48 등이 아래 표와 같이 존재한다 (모델에서 Y_S 는 가속온도가 T일 때 가속시간 t에서의 안정제 함량 감소율이며, $K_n(T)$ 는 가속온도 T에서 n차 안정제 함량 감소반응속도를 나타내는 상수이다).

Table 5. NATO deterioration model (Lee et al., 2007; Cho & Kim, 2010)

Classification	Lifetime prediction model
STANAG 4527	$t_{Y_S}(T) = \frac{1}{k_1(T)365} \ln\left(\frac{1}{Y_S}\right)$
AOP-48	$t_{Y_S}(T) = \frac{1 - (T_S)^{1-n}}{k(1-n)365}$

하지만 이러한 연구결과는 두 가지 한계를 지니고 있다고 판단된다. 첫 번째는 탄약은 로트 단위로 저장하여 관리되며 로트 내 탄약의 상태는 다를 수 있으나, 열화 모델은 이러한 현실을 반영하지 못한 채 로트 내 모든 탄약의 상태는 같다고 가정한다는 점이다. 두 번째 한계는 현실에서는 저

장 탄약에 대해 정비를 통해 탄약의 상태를 변화시킬 수 있으나 열화 모델은 이러한 점을 반영할 수 없다는 점이다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구결과의 한계를 극복하기 위해 마코브 이론과 베이지안 이론을 적용한 저장탄약의 수명을 예측하는 방법론을 제시하고자 한다.

III. 마코브 및 베이지안 이론

본 장에서는 본 논문이 제시하는 수명예측모델의 주요구성 이론인 마코브 이론과 베이지안 이론에 대해 간단히 살펴보고자 한다. 두 이론은 이미 많은 연구가 이루어졌고 다양한 분야에서 많은 활용이 이루어지고 있으므로, 본 장에서는 간단한 기본 개념만 살펴보고자 한다. 각 이론에 대한 상세한 설명은 Choi (2014), Jung (2013, 2018)에서 찾아볼 수 있다.

3.1 마코브 분석

마코브 이론은 러시아의 수학자 마코브에 의해 발표된 개념으로, 특정 시스템의 상태는 시간의 흐름에 따라 확률적으로 변해가는 확률과정을 따른다고 가정을 하고 시작한다. 이때, 시스템의 상태가 바로 직전의 상태에만 영향을 받는 경우, 즉 이전의 과거 상태와는 무관한 확률과정을 따를 시 마코브 분석은 시스템의 현재 상태를 분석하여 미래의 행태를 예측한다.

마코브 분석은 몇 가지 상황을 가정하는데, 첫 번째는 시스템은 유한한 수의 상태를 가지며 특정 시점에 반드시 어느 한 상태에는 속해야 한다는 것, 두 번째는 상태전이확률, 즉 시스템의 상태가 특정 상태에서 특정 상태로 바뀔 확률은 시간이 지나더라도 일정하다는 것, 세 번째로 어느 특정 시점 시스템의 상태는 바로 직전 시스템의 상태와 전이확률에만 의존한다는 것, 마지막으로 시스템 상태변화는 길이가 일정한 각 기간에 한 번만 발생한다고 가정한다는 점이다(시스템의 상태변화를 관측하는 주기는 항상 일정하다고 가정함).

만일 시스템의 상태를 s_i 라고 한다면, 두 번째 상황 가정이 의미하는 것은

$$P(X_{t+1} = s_j | X_{t+1} = s_i) = P(X_t = s_j | X_{t-1} = s_i) \quad (2)$$

이며, 세 번째 상황 가정은

$$P(X_t | X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_0) = P(X_t | X_{t-1}) \quad (3)$$

을 나타낸다.

위 네 가지 상황 가정이 모두 충족된다면 마코브 분석을 통해 단기적 행태 예측, 즉, 시스템이 단기간 후 어느 특정 상태에 머무를 확률을 구하는 것과 장기간 후 시스템이 특정 상태로 수렴할 확률을 예측할 수 있다.

본 논문에서는 저장 탄약의 최종 산출물이 결국 상태등급으로 도출된다는 점, 로트 내 탄약의 상태는 모두 같지 않다는 점, 저장 탄약의 신뢰성 시험은 일정치 않은 주기로 수행된다는 점 등을 고려할 때 마코브 분석이 장기저장 탄약의 상태를 예측하는 더욱 적합한 분석방법이라고 판단하였다. 해당 이론이 어떻게 수명예측에 적용되었는지는 다음 장에서 설명하기로 한다.

3.2 베이지안 이론

베이지안 이론은 미지변수의 확률분포를 과거의 경험에 기초한 주관적 사전지식(Prior Knowledge)과 현재의 데이터에 기반을 둔 객관적인 우도(Likelihood)의 곱을 통해 미지변수의 사후분포를 얻는 것을 의미한다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$p(\theta|x) \propto L(x|\theta) \times p(\theta) \quad (4)$$

예를 들어 약간은 찌그러진 미지의 동전에서 앞면이 나올 확률은 과거의 경험을 토대로 0.5~0.7의 일양분포(uniform distribution)를 따른다고 가정하자. 또한, 5회 동전을 던진 결과 4회가 앞면이 나왔다고 할 시, 미지의 동전에서 앞면이 나올 확률, 즉, 일양 분포와 실험결과의 곱으로 나타낸 사후분포는 아래 그림과 같다 (Choi et al., 2014).

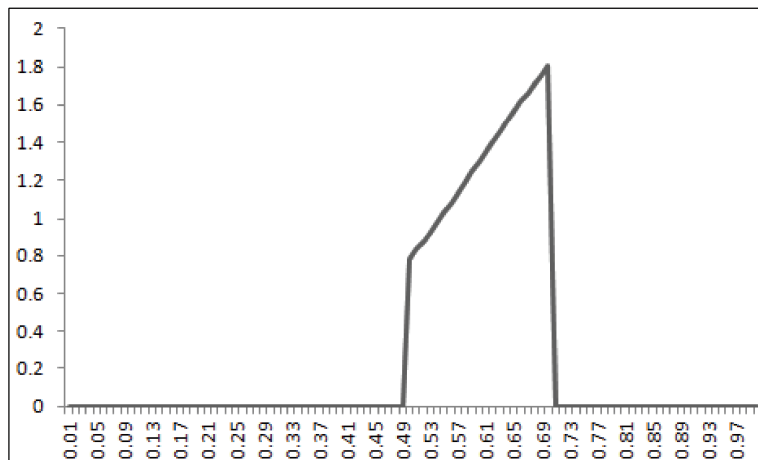


Figure 1. Post-distribution of coins

이를 다르게 표현하면, 베이저안 이론은 결과 데이터를 봤을 시 원인(가정)을 역으로 추정하는 과정이라고 할 수 있으며 이는 아래 식과 같은 형태로 표현할 수 있다 (Choi et al., 2014).

$$p(\text{가정}|\text{데이터}) \propto L(\text{데이터}|\text{가정}) \times p(\text{가정}) \quad (5)$$

3.1장에서 설명한 마코브 분석은 상태와 상태 간 변환 확률을 여러 번을 수행한 실험 데이터를 통해 추정한다. 하지만 저장 탄약에 대한 신뢰성 평가 업무는 늘 한정된 예산과 일정 등의 사유로 인해 제한된 횟수로 수행하고 시험주기도 일정치 않기 때문에 확률분포를 추정하기는 쉽지 않은 것이 현실이다. 따라서 본 논문에서는 실험을 수행하는 인원들의 확률분포에 대한 사전지식과 실험을 통해 얻은 객관적인 데이터를 통해 사후분포를 얻고 이를 마코브 분석의 상태전이확률로 사용하고자 한다.

요약하면 본 연구에서는 마코브 분석을 통해 로트 내 저장 탄약의 상태가 변해가는 모습을 표현하고 베이저안 이론을 통해서는 상태와 상태 간의 변환 확률을 표현하고자 한다. 이러한 방법론을 정리하여 표현하면 아래 그림과 같다.

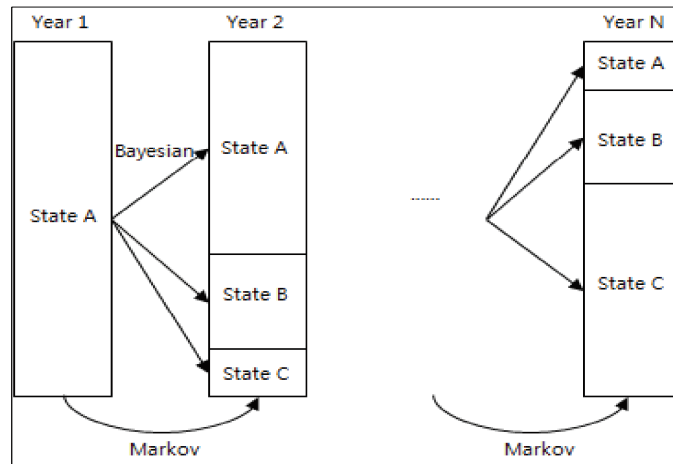


Figure 2. The state change process of stored ammunition

IV. 수명예측 모델 및 실험결과

본 장에서는 앞 장에서 서술한 마코브 분석과 베이저안 이론을 통합하여 저장 탄약의 수명을 예측하는데 적용해 보고자 한다. 이를 위해 가정하는 상황은 다음과 같다. 저장 탄약의 상태는 정상, 정비 필요, 폐기 등 3가지만 존재하며, 탄약은 어느 한 시점에서 세 가지 상태 중 한 상태에는 반드시

시 속한다. 또한, 탄약의 상태는 상호 배타적이며, 바로 직전의 상태와 전이확률을 통해서만 결정된다. 마지막으로 탄약의 상태는 정상에서 정비 필요, 정비 필요에서 폐기로는 변화할 수 있으나 반대의 경우, 즉 정비 필요에서 정상 또는 폐기에서 정비 필요로의 상태변환 등의 상황은 없다고 가정한다. 이는 마코브 분석을 적용하기 위한 준비단계이다.

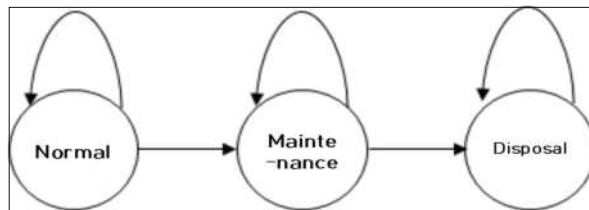
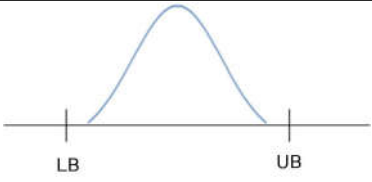
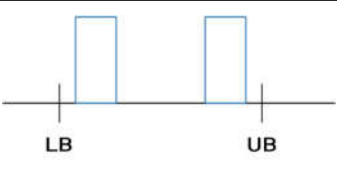


Figure 3. State transition of ammunition

또한, 상태 간의 전이확률, 즉, 관측시간 한 단계 상태 i 에서 상태 j 로 전이될 확률은 베이지안 기법을 통해 추정하였다. 일반적으로 저장 탄약의 시험을 전문적으로 수행하는 전문가들은 군수품 품질특성의 분포는 하한과 상한 내에서 정규분포의 형태를 보이기보다는 하한과 상한 부근에서 일 양 분포를 보이는 경우가 많다고 의견을 주었다 (표 참조). 따라서 시험 데이터가 존재할 경우, 상태 간의 전이확률은 실험 데이터와 사전확률 간의 곱으로 구하였고, 존재하지 않을 때는 사전확률만으로 구하였다.

Table 6. Distribution of Quality Characteristics of General Products and Munitions

General Products	Munitions
	

본 논문에서 제안한 이론을 통해 ○○자주포에 사용되는 ○○추진장약의 수명을 예측해 보았다. 다만 실제 실험 데이터는 여러 가지 여건상 획득이 제한됨에 따라, 기존 논문에 공개된 실험결과를 활용하였다 (Yoon, 2009). 논문에서 주어진 실험결과는 ○○추진 장약의 저장연도는 10~15년, 기능 시험의 평가등급은 약 13%가 B와 D등급, 비기능시험의 평가등급은 모두 1등급, 저장 안정성 평가 등급은 모두 A 등급이었다. 위 결과를 토대로 기능시험, 비기능 시험, 저장 안정성 시험의 1단계(1년 기준) 상태전이확률을 추정하였고, 대략 40여 년 후 저장 탄약의 상태를 추정하는 것을 목표로 실험을 시행하였다 (참조로 아래의 결과는 실제 데이터가 아닌 가상의 데이터로 추정한 결과임).

기능시험의 상태전이행렬과 40년 뒤 상태전이행렬은 아래와 같고,

$$\begin{Bmatrix} 0.989 & 0.011 & 0 \\ 0 & 0.92 & 0.08 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}^{40} \rightarrow \begin{Bmatrix} 0.642 & 0.097 & 0.261 \\ 0 & 0.036 & 0.964 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

비기능시험의 상태전이행렬과 40년 뒤 상태전이행렬은

$$\begin{Bmatrix} 0.9999 & 0.0001 & 0 \\ 0 & 0.9999 & 0.0001 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}^{40} \rightarrow \begin{Bmatrix} 0.995 & 0.005 & 0 \\ 0 & 0.995 & 0.005 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

저장 안전성 시험의 상태전이행렬 역시 아래와 같다.

$$\begin{Bmatrix} 0.98 & 0.02 & 0 \\ 0 & 0.92 & 0.08 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}^{40} \rightarrow \begin{Bmatrix} 0.44 & 0.36 & 0.2 \\ 0 & 0.45 & 0.55 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

또한, 전문가 자문을 통해 기능, 비기능, 저장 안전성 시험에 대해 가중치를 구한 결과는 0.8, 0.15, 0.05로 도출되었다. 마지막으로 각 시험의 상태전이행렬에 해당 가중치를 곱하여 더한 40년 후 종합상태전이행렬은 아래와 같다.

$$\begin{Bmatrix} 0.68485 & 0.09635 & 0.2188 \\ 0 & 0.20055 & 0.79945 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

제품 제조 직후에는 상태별 구성 비율, 즉, [정상, 정비필요, 폐기]가 [95, 5, 0]이라고 가정하고, 40년 후 탄약의 상태별 구성 비율을 구하면 [65, 10, 25]이다.

$$[100, 0, 0] \times \begin{Bmatrix} 0.68485 & 0.09635 & 0.2188 \\ 0 & 0.20055 & 0.79945 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \rightarrow [65, 10, 25] \quad (10)$$

또한, 시간이 지남에 따라 상태별 구성 비율 변화를 나타내면 아래 그림과 같다.

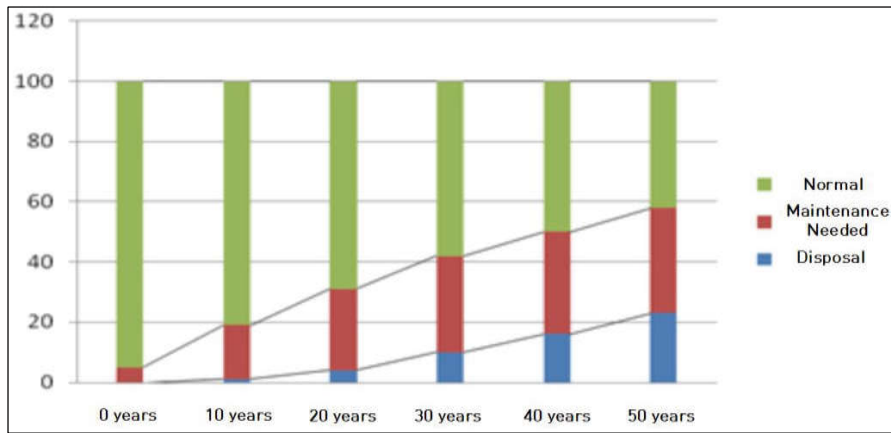


Figure 4. Percentage composition of storage ammunition by period

결론적으로, 시간이 지남에 따라 로트 내 탄약 중 폐기상태가 차지하는 비중이 점차 증가함을 확인할 수 있다. 다만 본 실험결과에서 제시하는 수치는 실제 데이터가 아닌 가상의 데이터로 이루어짐에 따라 향후 실제 데이터를 통해 본 방법론을 검증할 필요가 존재한다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 로트 내 저장 탄약의 상태를 3가지로 구분(정상, 정비필요, 폐기)하여 각 탄약의 상태변화과정을 마코브 분석으로 예측하였다. 마코브 분석을 하는 데 필요한 상태변환확률은 일부 실험 데이터와 장시간 여러 번 실험을 수행한 시험자의 의견을 고려한 베이저안 기법으로 추정하였다. 다만 실제 데이터 획득이 여러 가지 여건상 획득이 제한됨에 따라 공개된 논문의 실험결과를 토대로 역으로 데이터를 추정함에 따라 탄약의 상태를 3단계로만 구분하여 분석하였다.

본 논문의 접근 방법은 실제 저장 탄약은 로트 단위로 관리하고 신뢰성 시험은 비정기적/적은 횟수로 실시할 수밖에 없다는 현실을 반영하였다는 점에서 의의가 있다. 또한, 기존의 회귀분석을 통한 수명예측 방법론은 시간이 변해도 로트 내 탄약의 상태가 모두 같다는 비현실적인 가정을 하지만, 본 연구는 로트 내 탄약의 상태가 모두 달라진다는 현실을 반영한 최초의 연구결과라고 할 수 있다. 마지막으로 본 연구와 기존연구와의 가장 큰 차별점은, 기존의 연구결과는 정비를 통한 탄약의 상태변화가 가능하다는 점을 간과하였지만, 본 연구에서는 정비를 통한 탄약의 상태변화가 가능하다는 현실을 반영할 수 있다.

반면, 향후 연구 방향으로는 현재 전문가의 의견을 정성적인 방법으로 반영하고 있다는 한계를 극복하기 위해 다기준의사결정(AHP) 등의 방법을 통해 가중치를 설정할 수 있을 것이다. 또한, 데이터의 획득이 가능하다면 각 기존연구와 본 연구에서 제안한 방법론의 비교를 통해 더 나은 수명예측 방안을 정립할 수 있을 것이다.

References

- Cho, K. H., & Kim, E. Y. (2010). Life expectancy estimation of the propellants KM10 using high temperature acceleration aging tests and stockpile analysis test. *Korean Chemical Engineering Research*, 48(6), 695–699.
<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201007757876252.page>
- Choi, J. H. (2014). Bayesian statistical techniques for reliability analysis and design. *Journal of Mechanics* 54(2), 46–51.
- Choi, M., Park, H., Yang, J., & Baek, J. (2014). A Study on the Shelf-Life Prediction of the Domestic Single Base Propellants Ammunition: Based on 105mm High Explosive Propellants. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering* Vol, 37(3), 36–42. <https://doi.org/10.11627/jkise.2014.37.3.36>
- Defense Acquisition Program Administration(DAPA). (2018). Defense Business Management Regulations. 473.
- Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ). (2018). Storage Reliability Assessment Task Regulations.
- Department of Defense(DoD). (2017). Defense Power Generation Directive. 2114, Appendix 1.
- Jung, K. H. (2013). *Operations Research using Excel*. B&M Books.
- Jung, Y. S. (2018). *Theory, calculation and application of Bayesian statistics*. Jang Academy.
- Lee, J. C., Yoon, K. S., Kim, Y. H., & Cho, K. H. (2007). A study on the shelf-life prediction of the single base propellants using accelerated aging test. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 35(2), 45–52.
- Lee, J. W. (2010). Get to know and understand storage ammunition reliability assessment. *Defense Science Forum* 376, 102–107.
- NATO Military Agency for Standardization. (2004). Explosive, chemical stability nitrocellulose based propellants - stability test procedures and requirements using stabilizer depletion. AOP-48 Ed. 2. <https://standards.globalspec.com/std/1182861/aop-48>
- NATO. (2000). Explosive, Chemical Stability, Nitrocellulose Based Propellants, Procedures for Assessment of Chemical Life and Temperature Dependence of Stabilizer Consumption Rates. STANAG 4527. <https://standards.globalspec.com/std/358891/stanag-4527>
- Yoon, G. S. (2009). Statical analysis of ASRP data for Shelf-life estimation. *Defense Quality Management Journal*.

Yoon, K. S., & Lee, J. C. (2012). A case study on the reliability assessment of stockpile ammunition. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 40(3), 259-269. doi.org/10.7469/jksqm.2012.40.3.259

원 고 접 수 일	2019년 3월 15일
원 고 수 정 일	2019년 4월 5일
게 재 확 정 일	2019년 5월 3일

Abstract

Case Study on Quality Prediction of the Ammunition Stockpile Reliability Program Based on a Small Amount of Discontinuous Data

Namsu Ahn · Minsu Kim · Jaewoong Kim · Jongjil Lee

Korea Military Academy

This research proposes a new framework on reliability assessments of stored ammunition stocks. Many previous studies on reliability assessments are based on the correlation between the content of residual stabilizer and the year of manufacturing. However, it ignores the quality difference of the lot and other possible deterioration factors. In this research, we suggest a new framework which can overcome those shortcomings.

To estimate the life of the stored ammunition, this research combined two popular techniques. The first one is Markov chain analysis and the second one is Bayes' theorem. Markov chain analysis is used to represent the discontinuous experimental interval and quality difference in the lot, and Bayes' theorem is used to overcome the circumstance that information from the experiments is limited. We obtained data from previous research article, and calculated three state transition matrix(function, non-function, stability) to apply the Markov chain analysis. Weights from the opinions of experts are given to three matrix, and the calculated total state transition matrix is used to estimate the long term ammunition status. In result, we propose a new framework which can reflect the quality degradation in lot and state-based business procedure. Also, the business reality that number of possible experiments is small and the observation period can be discontinuous are reflected.

Key Words : Ammunition Stockpile Reliability Program, Markov Chain Analysis, Bayes' Theorem, Lifetime Estimation