

저장탄약신뢰성평가 데이터를 활용한 포병탄약의 효과적 관리방안 연구 -시험주기 설정, 저장수명 예측, 전력효과 분석을 중심으로-

이정우^{1*}, 홍윤기¹
¹한성대학교 산업경영공학과

A study on the effective management of artillery ammunition using ASRP data -The case of test interval determination, shelf-life prediction, force effectiveness analysis-

Jung-Woo Lee^{1*} and Yoon-ki Hong¹

¹Industrial & management Engineering, Hansung University

요 약 ASRP 데이터는 야전에 저장·운용되고 있는 탄약을 평가한 유일한 필드 데이터이자 탄약성능 중심의 포병전력을 객관적으로 판단할 수 있는 자료이다. 하지만 ASRP 데이터는 야전에 저장된 탄약에 대한 저장상태를 판단하는 것대로 활용될 뿐, 축적된 데이터에 대한 재평가와 깊이 있는 연구가 진행되지 못하고 있다. 본 연구는 포병탄약 성능 중심의 현존 포병전력을 분석하고 관리하기 위한 ASRP 데이터의 활용 방법 연구로 야전에 저장되고 있는 탄약의 시험주기 설정, 탄약수명 예측 및 M&S(Modeling & Simulation) 기법의 전투모의를 통한 전력효과 분석 등 3가지 방안을 제시하였다.

Abstract ASRP(Ammunition Stockpile Reliability Program) Data is stored and operated in the field of evaluating the ammunition is not only the only field data but also the ammunition performance-oriented data can determine objectively the power of the artillery. However, ASRP has been used as a yardstick to judge the status of ammunitions stockpiled in the field. On the other hand re-evaluation of the accumulated data and in-depth research have not been carried out. A Study on the Effective Management of Artillery Ammunition using ASRP data suggests how to utilize the ASRP data to analyze and manage existing artillery forces whose focus is centered on increasing the performance of artillery ammunitions through setting the test intervals of deployed stockpiled ammunitions, forecasting the shelf-life of ammunitions, and analyzing the effectiveness of the military strength through modelling and simulation.

Key Words : ASRP, Interval test, Shelf-life, Battle simulation, Military strength-effectiveness analysis

1. 서론

우리 군은 북한의 무차별 포격 도발 이후, 북한의 강력한 포병전력에 대응하기 위해 화력전 수행을 위한 첨단 화력무기체계 확보는 물론 포병 레이더와 같이 적 화포

를 찾는 탐지용 무기체계 및 고정밀, 고위력 탄약의 통합 운용에 많은 관심을 기울이고 있다. 탄약의 성능과 안전성은 제조 당시 품질수준에 의해서 확보되는 것이지만 아무리 제조시 품질수준이 높게 형성된 경우라도 탄약의 고유 특성상 저장 중 여러 가지 요인들에 의해서 초기 품

본 연구는 한성대학교 지원 과제임.

*Corresponding Author : Jung-Woo Lee

Tel: +82-10-7708-9987 email: 25com@naver.com

접수일 12년 01월 09일 수정일 (1차 12년 07월 11일, 2차 12년 07월 27일, 3차 12년 08월 14일) 게재확정일 12년 09월 06일

질수준이 그대로 유지되기는 어렵다. 때문에 야전에 배치된 장기 저장탄약에 대한 신뢰성 확보는 중요한 의미를 갖으며 야전 저장탄약에 대한 품질보증 일환의 활동을 저장탄약신뢰성평가(ASRP : Ammunition Stockpile Reliability Program) 라 한다. ASRP는 우리 군에서 저장 중인 탄약에 대하여 주기적으로 비기능, 기능, 저장분석 시험 등을 수행하여 사용가능성, 안정성, 신뢰성 및 성능을 통계적으로 분석·평가하고 그 결과를 근거로 계속저장, 제한사용, 우선불출, 폐기 등 탄약 상태를 결정하며 교체시기, 정비, 개수 및 폐기 등을 위한 기초자료를 제공함으로써 저장탄약의 신뢰성 확보와 군 전투력 향상을 목적으로 실시되는 종합적인 탄약평가시스템이다[1]. ASRP를 통해 확보된 데이터는 야전군에 저장된 탄약을 대표하는 자료로써 매우 중요한 의미를 가진다. 하지만 이와 같이 중요한 야전 데이터가 로트단위 탄약 상태를 평가하는 자료로 활용되고 있을 뿐 분석방법 부재 및 ASRP 데이터 활용에 대한 인식 부족으로 아직까지 활발한 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 ASRP 데이터의 효과적 활용 방안으로 통계적 기법을 적용한 효율적 시험주기 설정, 시계열분석 중 ARIMA를 적용한 저장탄약 수명예측 모델 제시, M&S 기법의 전투모의를 활용한 ASRP의 전력효과 분석 등 3가지 방법을 제시하였다.

2. ASRP Data를 활용한 포병탄약의 효과적 관리방안

2.1 추진장약의 저장분석시험 주기 설정

본 연구는 ASRP 데이터 중 K-9 및 K-55 자포포 사격시 사용되는 KD541 및 KD676 추진장약의 저장년도별 잔여 안정제함량 데이터를 활용하여 현재 국방품질경영 규정(10.3.25)[2]에 명시된 추진장약류의 최초시험 10년, 재시험 5년 단위의 설정 주기에 대한 적합성을 검증하고 개선안 제시와 개선 주기에 대한 경제효과를 분석하였다.

2.1.1 데이터 분석 및 종합

저장기간이 [10~15년] 경과한 KD541 및 KD676의 기능시험 평가등급은 약 12~13% 정도가 B, C등급으로 탄약의 신뢰성을 자신 있게 보장할 수 없는 평가결과였다. 하지만 같은 기간 추진장약의 잔여 안정제함량을 분석한 결과, 평균 잔여 안정제함량은 0.83%(최소 : 0.65, 최대 : 0.92)로 재평가 없이 계속 저장 가능한 A등급 상태이며 저장 안전성을 고려한 한계 기준(잔여 안정제함량 0.3%)을 훨씬 상회하는 양호한 상태였다.

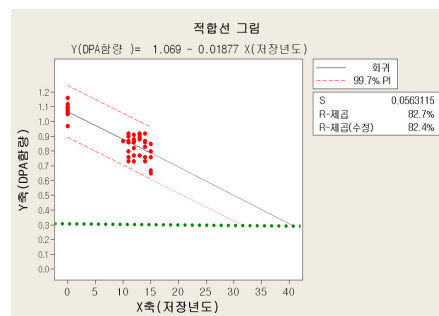
[표 1] 저장년도별 평가로트 현황[3]

[Table 1] The assessment lots status by year

구 분(저장기간)			10년	11년	12년	13년	14년	15년
KD541	안정제 함량 분포	0.65~0.92 평균:0.83	0.87	0.73	0.73	0.77	0.73	0.65
			0.76	0.77	0.88	0.76	0.67	
			0.80	0.82	0.89	0.83	0.76	
			0.86	0.86	0.91	0.86	0.80	
			0.87	0.87	0.92	0.87	0.85	
			0.90	0.88		0.87		
			0.92	0.88		0.92		
로트수	33(개)	1	7	8	5	7	5	
KD676	안정제 함량 분포	0.70~0.87 평균:0.80	0.81	0.81	0.70	0.77	0.70	0.78
			0.82	0.82	0.78		0.77	0.81
			0.82		0.85			
			0.82		0.87			
			0.83					
로트수	17(개)	5	2	4	1	3	2	

2.1.2 회귀분석을 활용한 저장수명 예측

'09년 9월 국방품질경영지에 발표된 윤근식의 회귀분석을 활용한 저장탄약 수명 예측 연구를 요약하면 다음과 같다. 장기 저장된 추진장약의 저장수명 예측을 위해서 먼저 저장기간에 따른 잔여 안정제함량을 분석하여 안정제함량 한계 기준(0.3%)에 도달하는 시점을 추정한다. 즉 저장년도는 독립변수(X축)가 되고 추진제의 잔여 안정제함량은 종속변수(Y축)가 되며 저장년도에 따른 잔여 안정제함량에 대해서 회귀분석을 통해 회귀직선식 및 결정계수 등을 구하고 안정제함량 한계 기준에 도달하는 시점을 회귀 직선 식으로부터 구한다[4,5]. 그림 1은 표 1의 저장년도별 평가로트 현황을 활용하여 회귀 분석한 결과이다. 그림의 실선은 저장년도에 따른 잔여 안정제함량의 평균 저장수명 추정 값이며, 점선은 신뢰수준 99.7% 신뢰구간의 하한값이다.

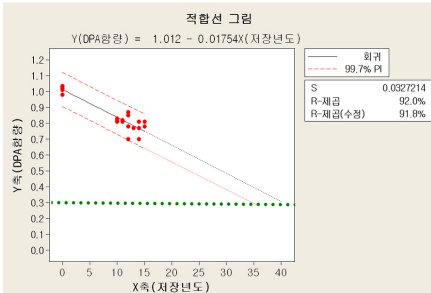


[그림 1] KD541의 저장수명 예측도

[Fig. 1] The prediction diagram of KD541 Shelf-life

KD541 추진장약의 평균 저장수명은 회귀직선식 $[Y=-0.01877X+1.069]$ 이 잔여 안정제함량 0.3% 기준에 도달하는 시점인 약 40.9년이었으며, 표준오차 0.05631을 적용 저장안정성을 고려한 신뢰수준 99.7% 신뢰구간의

하한값은 약 31.9년으로 예측되었다. 위와 같은 방법으로 분석한 KD676의 평균 및 신뢰수준 99.7% 신뢰수준을 고려한 예측수명은 약 40.6년, 34.9년이었다.



[그림 2] KD676의 저장수명 예측도
[Fig. 2] The prediction diagram of KD676 Shelf-life

2.1.3 최초 및 재시험주기 설정

KD541 및 KD676 추진장약의 잔여 안정제함량을 통해 추정한 평균 저장수명은 40년 이상이며 신뢰수준 99.7% 신뢰구간 하한값의 저장수명을 고려하더라도 30년 이상의 저장수명이 예측되었다. 하지만 현재 업무규정상 명시된 ASRP 최초 시험시기는 제조 후 10년 도래 시점이며 평가방법 역시 기능시험 및 저장분석시험을 일괄적으로 적용하고 있었다. 따라서 기능시험과 저장분석시험을 구분한 평가시스템 적용 및 최초 시험시기 재설정이 필요하였다.

본 연구에서는 ASRP 데이터를 분석 및 종합 후 회귀 분석을 활용하여 평균 및 신뢰수준 99.7% 신뢰구간의 하한값을 고려한 저장수명을 예측하고 예측된 저장수명보다 짧게 최초 시험시기를 설정하였다.

[표 2] 저장수명 예측

[Table 2] Shelf-life prediction

구분	안정제함량 감소속도(%/년)	평균 저장수명	99.7%하한값 저장수명
KD541	0.0187	40.9년	31.9년
KD676	0.0175	40.6년	34.9년

표 3에서 보는 바와 같이, 최초 시험시기를 설정할 때 고려되어야 할 사항으로 데이터 추세관리 및 연속성 있는 자료수집·관리가 필요하며, 유사 탄종의 동일한 기준 적용으로 탄종별 최초 시험주기 설정에 있어 적용성을 등을 종합적으로 고려할 때 15년으로 설정하였다.

[표 3] 저장분석시험의 최초 시험시기 설정

[Table 3] Setting the first test interval of storage analysis

구분	기존 최초시험시기	99.7%신뢰구간 수명예측값	개선 후 최초시험시기
KD541	10년	31.9년	15년
KD676	10년	34.9년	15년

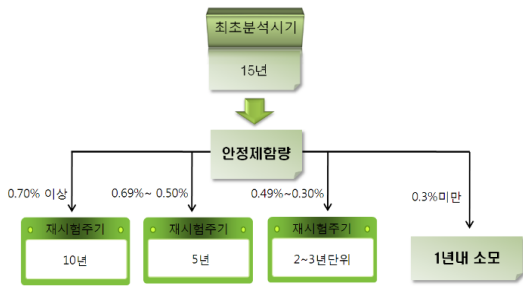
재시험주기는 잔여 안정제가 위험수준(안정제함량 0.3% 이하)으로 떨어지지 않는 범위 내에서 안정제 감소 반응속도에 맞춰 재시험의 시간적 간격을 설정하되, 안정제함량의 감소추세와 최초시험 후 잔여 안정제함량을 동시에 고려하여 저장안정성을 보장토록 설정하였다. [표 4]는 KD541 및 KD676 추진장약의 안정제함량 감소속도(회귀선 기울기), 평균 저장수명 및 안정제함량이 0.2% 감소하는 시간(구간 감소시간 : t)을 요약한 내용이다.

[표 4] 감소속도를 고려한 재시험주기 설정

[Table 4] Setting the re-tests interval considering decreasing rate

구분	안정제함량 감소속도(%/년)	평균 저장수명	구간 감소시간 (년/0.2%)
KD541	0.0187	40.9년	10.6년
KD676	0.0175	40.6년	11.5년

KD541 및 KD676 데이터를 활용한 추진장약 저장분석시험의 재시험주기 설정 방법은 다음과 같다. 먼저 시험주기 간격은 0.7%이상, 0.69~0.5%, 0.49~0.3%, 0.3%미만의 4개 구간으로 나누어 설정한다. 이와 같은 구간 설정은 단순히 보이지만 탄종에 관계없이 적용성을 높일 수 있는 장점이 있다. 회귀직선식의 안정제함량 감소속도를 고려했을 때 KD541 구간 감소시간은 10.6년, KD676은 11.5년이었다. 평가의 안전성을 고려해 볼 때 감소추세가 더 빠른 KD541(10.6년)을 155mm 추진장약의 구간 감소시간(t)으로 채택하였으며 시간 데이터임을 고려 10년으로 최종 설정하였다. 안정제함량 0.7%이상 구간의 재시험주기는 구간 감소시간(t)인 10년으로 0.69~0.5% 구간의 재시험주기는 저장기간 경과에 따른 저장안정성을 고려하기 전의 재시험주기인 10년에 1/2인 5년으로, 0.49~0.3% 구간의 재시험주기 역시 저장안정성을 고려하기 전의 재시험주기 5년의 1/2인 2~3년으로 설정하였다. 0.3%미만에서는 기존 업무규정에 따라 1년 이내 처리하는 것으로 하였다.

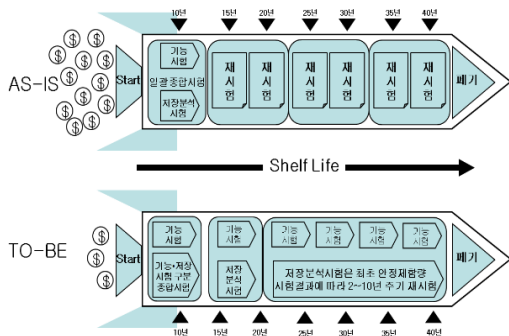


[그림 3] 추진장약 저장분석시험의 시험주기
 [Fig. 3] The test interval of storage analysis test on the propelling charge

그림 3은 155mm 추진장약의 최초 시험시기부터 잔여 안정제한량을 고려, 재시험주기 설정을 순차적으로 설명한 순서도이다. 통계적 기법을 적용한 최초 시험시기 설정 및 잔여 안정제한량을 고려한 재시험주기 설정은 현재의 일률적인 최초 및 재시험주기 설정 방법과 비교해 볼 때 효율적 방안이다.

2.1.4 시험주기 개선안 제시

국방기술품질원은 저장안정성평가 일환으로 추진장약류에 대한 저장분석시험을 국방품질경영규정에 의거 실시하고 있다. 또한 저장분석시험은 기능시험과 동일하게 제조 후 10년, 최초 평가 후 5년 단위로 재시험을 하고 있다. 현재 운영되는 시험주기 방법은 본 연구 결과를 토대로 개선되어야 하며 그림 4는 새로 정립된 155mm 추진장약의 최초 및 재시험주기 개선 전·후를 비교한 그림이다.



[그림 4] 개선 전·후 시험주기 비교
 [Fig. 4] The comparison on test interval before and after improvement

개선 전에는 제조 후 10년이 경과하면 종합시험 형태로 기능 및 저장분석시험을 일괄적으로 실시하였다. 하지

만 개선 후에는 기능시험과 저장분석시험을 구분하여 평가되되 15년 이전에는 저장분석시험을 생략, 기능 및 성능위주의 평가만 시행하도록 하였다. 15년 경과 후에는 종합시험 형태의 평가를 실시하고 재시험은 추진제의 잔여 안정제한량에 따라 2~10년을 주기로 조정하였다.

2.1.5 시험주기 개선에 따른 경제효과 분석

본 연구는 기존의 최초 시험시기 10년, 재시험주기 매 5년 단위로 평가했던 시험비용과 개선 후 최초 시험시기 15년, 잔여 안정제한량을 고려한 재시험주기 평가 시험비용을 비교하여 경제효과를 분석하였다. 개선안의 재시험주기는 저장수명 및 안정제감소 기울기를 고려 15년에 최초 시험, 25년, 33년, 40년에 재시험하는 것으로 분석하였으며 저장분석시험비용은 국방기술품질원 및 외부 시험기관의 평균 평가비용으로 산정하였다. KD541의 평균저장 수명을 약 41년으로 가정했을 때 개선 전에는 1,530번, 개선 후에는 808번의 시험평가를 실시함으로써 약 48%의 시험평가 횟수 절감효과 및 절감된 시험평가 횟수를 비용으로 환산시 5억6천만원 정도 시험비용 절감 효과를 기대할 수 있었다.

2.2 시계열분석을 적용한 저장탄약수명 예측

재래식 탄약의 저장수명은 탄종 및 저장조건에 따라 통상 20~30년 이상으로 보고되고 있으나 정확한 수명은 설정되어 있지 않으며, 저장기간이 늘어남에 따라 탄약약작용 발생이 증가되고 있는 추세이다. 따라서 재래식 탄약의 저장수명을 예측하여 사전 조치하는 것은 탄약관리에 있어 필수 불가결한 업무이다. 본 연구는 6년간('01년~'06년) ASRP 결과 데이터를 기초로 시계열분석 중 ARIMA 모델[6]을 활용하여 야전에 저장되고 있는 추진장약의 저장수명을 예측하였다. 연구간 ARIMA 모델로 예측한 저장수명 결과를 기존의 회귀모델 연구 결과와 비교함으로써 ARIMA 모델이 저장수명 예측 모델로서의 사용 가능성과 예측 값의 신뢰성을 검증하였다.

2.2.1 데이터 및 기존 연구방법 고찰

2.2.1.1 데이터 특성 및 표본 추출

ASRP 결과보고서는 국방기술품질원이 주관하여 전국 11개 지역의 시설 탄약고를 대상으로 야전 탄약에 대한 저장신뢰성평가 결과를 분석한 자료이다.

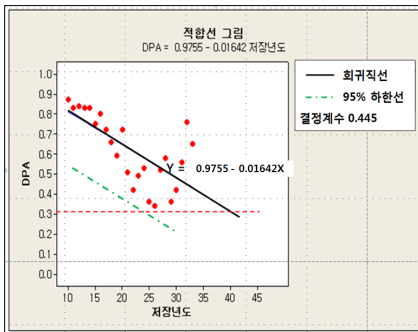
[표 5] 저장년도별 잔여 안정제함량
[Table 5] Residual stabilizer content by year

저장 기간	10년	11년	12년	...	31년	32년	33년
함량 범위	0.87	0.92 ~ 0.73	0.91 ~ 0.73	0.66 ~ 0.45	0.79 ~ 0.72	0.82 ~ 0.45
평균	0.87	0.83	0.84	0.56	0.76	0.65

표 5는 '01년~'06년 ASRP 결과보고서 중 각 지역에서 표본 추출한 총 111개 로트의 155mm 추진장약(KD541) 잔여 안정제함량 데이터를 정리한 것이며, 제조년을 기준 하여 '87년~'95년 분포의 저장기간이 10~33년 경과한 데이터이다[3]. 본 연구에서는 시계열분석을 위해 산술 평균한 24개의 연속된 저장기간별 안정제함량 데이터를 추출하였다.

2.2.1.2 회귀분석을 적용한 저장수명 예측

본 연구는 기존 연구된 회귀분석으로 표 5의 ASRP 데이터를 활용하여 저장수명을 예측하였으며 회귀직선식 $Y = 0.9755 - 0.01642X$, 결정계수(R^2) 0.445를 얻었다. 추진장약의 평균 저장수명은 회귀직선식이 잔여 안정제함량 0.3% 기준에 도달하는 시점인 약 43년이었며, 저장 안정성을 고려한 신뢰수준 95% 신뢰구간의 하한값 표준 오차를 적용하여 약 25년으로 예측하였다[7].



[그림 5] 회귀모델의 수명예측도
[Fig. 5] The shelf-life prediction diagram of regression model

2.2.1.3 기존 연구방법의 제한사항

회귀분석을 활용한 저장탄약의 수명 예측은 비교적 간단·명료하여 전문가가 아니더라도 쉽게 접근이 가능한 통계적 방법이다. 하지만 본 연구에서는 데이터 적합성을 나타내는 결정계수(R^2 : 0.445)값이 비교적 작게 나타나 저장수명 예측 값으로 추정하기에는 부족한 부분이 있었

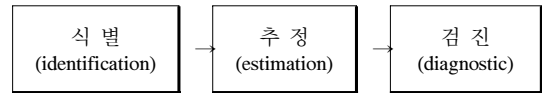
으며 신뢰수준을 고려한 저장수명 예측시 회귀직선의 기울기에 따라 신뢰구간 폭만큼 거리를 두고 결정되므로 저장수명의 하한값이 단편적으로 예측되는 등 회귀분석만으로 저장수명을 예측한다는 것은 몇 가지 문제점이 발견되었다[7]. 따라서 본 연구에서는 회귀분석만으로 저장탄약수명을 예측하는 것에 대한 한계를 확인할 수 있었으며 이러한 제한사항을 보완할 수 있는 대안으로 시계열분석 중 ARIMA 모델을 활용하여 새로운 저장수명 예측 모델을 제시하였다.

2.2.2 ARIMA 모델을 적용한 저장수명 예측

2.2.2.1 모델적용 절차

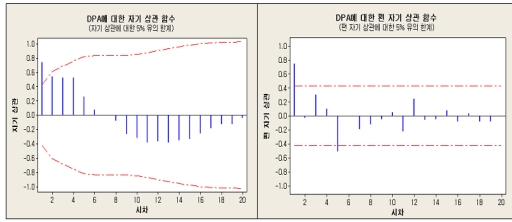
박스-젠킨스(Box-Jenkins)에 의한 시계열 모형화 방법은 모델을 식별하고 모수를 추정한 후 적합성을 진단하는 것이다[8]. 시계열의 자기상관함수(ACF : autocorrelation fuction)와 편자기상관함수(PACF : partial autocorrelation fuction)를 분석하여 MA(Moving Average), AR의 차수를 정하고 시계열에 비정상성이 있으면 계절적, 비계절적 차분을 통하여 시계열로 만든 후 분석·예측한다[9]. Box-Jenkins의 ARIMA 모델 방법론은 모델의 식별, 추정, 검진의 3단계에 걸쳐 진행되는 예측기법이다[10,11]. 본 연구에서는 회귀분석에서 사용했던 155mm 추진장약의 저장기간별('10~'33년) 24개 안정제함량 변화 데이터를 동일하게 사용하였으며, 복잡한 ARIMA의 수학적 모델을 대신 “미니-탭 ver.15 프로그램”을 활용하여 데이터를 산출하였다.

[표 6] ARIMA 모델의 적용 절차
[Table 6] Procedure for ARIMA model



2.2.2.2 모델 식별

정상시계열 가정의 충족 여부를 확인하는 예비단계로써 저장년도별 안정제함량의 시계열도를 통하여 시계열의 변환 여부를 판단한다. 안정제함량의 시계열을 시차 1의 차분을 통해 지수적으로 감소하는 추세를 제거, 정상시계열의 가정을 충족시켰다. 자기상관함수(ACF : Autocorrelation Fuction) 및 편자기상관함수(PACF : Partial Autocorrelation Fuction) 그래프를 통해 종합적으로 평가하여 적합 모델을 식별하였다.



[그림 6] 안정제함량에 대한 ACF 및 PACF
[Fig. 6] ACF & PACF on Stabilizer content

안정제함량에 대한 편자기상관함수 그래프에서 살펴 보면 시차 1, 5에서 PACF가 유의한계선을 넘는 것을 볼 수 있다. 하지만 전체적으로 시차가 증가할수록 지수적으로 감소하는 것으로 식별하였다. 안정제함량의 시계열이 지수적으로 감소하는 경향을 제거하기 위해 시차1의 차분을 하였다. 자기상관함수(ACF)가 시차 1에서 유의한계선을 넘는 것을 볼 때 MA(1), 계절상수 11인 모형으로 판단하였으며 편자기상관함수(PACF)가 상대적으로 지수적 감소하는 것을 볼 때 비계절모형은 0 1 1 모형으로 식별하였다. 또한 계절모형(계절상수 11)의 경우 자기상관함수(ACF)와 편자기상관함수(PACF) 모두 지수적으로 감소하는 것으로 볼 때 ARIMA 모형으로 식별하였다. 위 내용을 종합적으로 판단할 때 ARIMA 0 1 1 1 0 1 1 1 1 모형으로 식별하였다.

2.2.2.3 모델 추정

모수추정 단계에서 최종적으로 식별된 것이 ARIMA 0 1 1 1 0 1 1 1 1 모형이다.

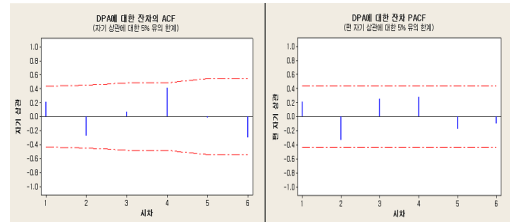
[표 7] 모수의 최종 추정치
[Table 7] Prediction value of a seed tree

유형	계수	계수SE	T-값	P-값
MA(1)	0.7802	0.1537	5.07	0.000
SAR(11)	-0.5033	0.3235	-1.56	0.0136
SMA(11)	1.0587	0.3049	3.47	0.003
constant	-0.0177014	0.0004361	-40.59	0.000
차분계산	1 정규차분			
관측치수	원본 시계열 24, 23의 차분 계산 뒤			
잔차	SS	MS	DF	
	0.114244	0.006013	19	

표 7의 모수 최종 추정치 분석표를 통해 추정된 모수가 통계적(유의수준 5%)으로 설득력이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

2.2.2.4 모델 검진

추정된 모형의 적합성을 검토하는 단계로 적합 잔차의 랜덤 여부를 확인하는 것이 검진 단계이다. 검진 방법으로는 주로 잔차 분석이 이용되며 적합 잔차들의 자기상관함수(ACF)와 편자기상관함수(PACF)를 계산하여 모든 시차에서의 자기상관함수(ACF) 및 편자기상관함수(PACF)가 충분히 0에 가까운가를 확인하는 것이다.

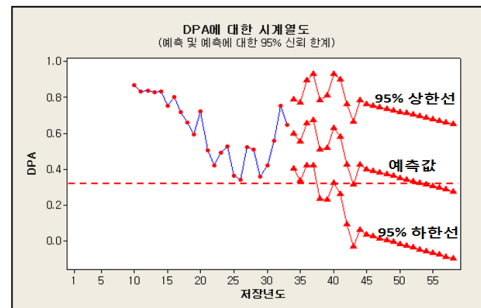


[그림 7] 잔차의 ACF 및 PACF
[Fig. 7] ACF & PACF of Residual

그림 7은 적합 잔차의 ACF, PACF가 유의한계선안에 있어 적합 잔차가 랜덤함을 보여주는 것으로 모형검진 단계로 잔차의 랜덤함을 확인하였다.

2.2.2.5 예측 결과

ARIMA 0 1 1 1 0 1 1 1 1 모형은 표 5의 저장기간별 155mm 추진장약의 잔여 안정제함량 데이터를 활용, 34년 예측시점부터 저장수명을 예측하였다. ARIMA 모형의 분석 결과를 요약하면 평균 저장수명은 43년이며, 신뢰수준 95%에서 안정제함량의 하한값 저장수명은 약 35년으로 예측되었다.



[그림 8] 안정제함량에 대한 시계열분석도
[Fig. 8] The time-series analysis diagram of stabilizer content

2.2.3 ARIMA 모형의 예측 결과

2.2.3.1 저장수명 예측 분석

지금까지 ASRP 결과를 기초로 ARIMA 모형과 회귀

모델을 통해 155mm 추진장약의 저장수명을 예측하였다. 아래 표에서 보는 바와 같이 ARIMA 모델 42년, 회귀모델 43년으로 평균 저장수명은 비슷하게 예측되었다. 그러나 신뢰수준 95% 신뢰구간의 하한값을 비교해 볼 때 회귀모델 25년, ARIMA 모델 35년으로 분석방법에 따라 다소 차이를 보였다.

[표 8] 저장수명 예측결과 비교
[Table 8] The comparison on shelf-life analysis

예측결과 비교		ARIMA모델	회귀모델
저장수명	평균값	42년	43년
	신뢰구간(95%) 하한값	35년	25년

상이한 결과값에 대한 분석을 해 보면 회귀모델의 경우, 회귀직선 기울기가 결정됨에 따라 동일한 신뢰구간의 간격을 두고 하한값이 예측 결정되는 반면, ARIMA 모델의 경우 저장기간에 따른 과거 데이터의 고·저를 반영하여 예측되므로 신뢰수준 95% 신뢰구간 하한값의 저장수명이 조금 더 길게 예측된 것으로 분석되었다. 두 모델의 예측 결과를 종합해 보면, 평균 저장수명은 42년~43년, 신뢰수준 95% 신뢰구간 하한값의 저장수명은 25년~35년으로 구간값을 적용하여 추정할 수 있었다.

2.2.3.2 분산 분석

표 9는 ARIMA 모델과 1차 선형 회귀모델의 MS(mean square)값의 비교 결과이며 ARIMA모델의 MS값(0.006013)이 회귀모델보다 작았다.

[표 9] 분산분석 결과값 비교
[Table 9] The comparison on variance analysis

분산분석	ARIMA모델	회귀모델
DF	19	22
SS	0.114244	0.271290
MS	0.006013	0.016877

두 모델의 예측정확도를 통계적으로 비교하기 위해 두 모형의 MS값을 F검정으로 비교하였다. 두 모형의 MS 값의 비는 F 분포를 따르게 되므로 다음과 같이 가설을 세우고 F 검정을 실시하였다. 신뢰수준 95%에서 검증 기준은 $F(0.05, 22, 19) = 2.16$ 이며 [표 9]에서 각 모델별 MS값의 비를 계산하면 아래와 같다.

$$\frac{0.016877}{0.006013} = 2.8 > F_{(0.05, 22, 19)} = 2.16$$

그러므로 신뢰수준 95%에서 귀무가설이 기각되어 대립가설을 채택하AM로 두 모형의 MS값의 차이가 통계적으로 유의하다고 볼 수 있다. 따라서 MS값이 작은 ARIMA 모델이 회귀모델보다 우수한 예측 정확도를 가진다고 볼 수 있다.

2.3 ASRP의 전력효과 분석

국방기술품질원이 발간한 『2010년 육군 ASRP 결과보고서』에 따르면 탄약수명의 신뢰성을 보장하고 탄약 정비로 인한 성능복귀와 더불어 사용불가 탄약 폐기에 의한 저장비용 절감 등으로 약 344억원의 부가가치를 창출한 것으로 보고되고 있다[12]. 이러한 분석은 ASRP가 군 전투력 향상에 미치는 전체 효과중에서 비용을 고려한 경제적 측면, 즉 간접적인 효과만을 분석하였을 뿐 직접적인 측정이 제한되는 전투력 증대효과 부분이 배제되어 ASRP 효과가 과소평가 될 수 있는 여지가 있었다. 따라서 본 연구는 ASRP를 통해 상승한 탄약신뢰도가 군 전투력 증강에 미치는 영향을 M&S(Modeling & Simulation) 기법의 전투모의를 활용하여 분석해 보고자 한다. 이번 연구가 시사하는 또 다른 의미는 육군의 포병 화력분야 분석업무 및 전투실행 수행을 위해 활용되는 화력운용분석모델을 적용해 ASRP의 전력효과를 분석한 첫 번째 사례로 새로운 평가방법 및 활용 모델로써의 사용 가능성을 확인하는 것이다.

2.3.1 데이터 활용 및 분석

본 연구는 '05년~'09년 ASRP 결과보고서 데이터를 사용하였다[3].

[표 10] 탄종별 불발율
[Table 10] Dud probability of ammunition

박격포	곡사포	소화기탄	직사화기
60mm 13.78%	105mm 13.35%	40mm 11.9%	106mm 13.9%
81mm 13.2%	155mm 18.9%		
4.2인치 6.6			

※ 기타탄 : 다련장(130mm MLRS) : 25%

분석모델에 적용한 표 10의 데이터는 육군의 사단 핵심 전력인 155mm 곡사포를 포함한 8개 탄종이며 최근 5년간 ASRP 대상 탄약 중 전투력 발취에 제한이 될 수 있는 탄약(CC-F[정비 대상], CC-H[폐처리 대상], CC-Q[불충중지탄약])을 탄종별 비율값(%)으로 계산하였다. 또한,

곡사포의 경우 탄약 자체 뿐만 아니라 사격간 문제가 될 수 있는 신관의 불량 비율도 동시에 고려하여 사격에 제한이 될 수 있는 모든 요소들을 포함하여 분석하였다.

2.3.2 화력운용분석모델을 활용한 전투모의

2.3.2.1 전투모의 설정

본 연구에서는 ASRP를 통해 향상된 탄약 신뢰도가 군 전투력 증강에 미치는 전력효과를 분석하기 위해 다음과 같이 대안을 설정하였다. 화력운용분석모델은 ASRP의 전력효과를 분석하는 전용 분석모델이 아니므로 프로그램의 한계상 ASRP 미적용으로 발생하는 불발탄 상황의 묘사가 불가능하다. 때문에 그 대안으로 전투모의간 탄약 소모량을 조정·통제하는 방법으로 ASRP 효과도를 묘사하였다. 이번 연구에서는 사단급 전투에서 사용되는 편제 화기 탄종이 분석대상이며 추가적으로 분석의 다양성을 높이기 위해서 사단 포병대대가 105mm인 경우와 155mm 자주포대대인 경우로 각각 나누어 분석하였다. 표 11은 105mm 포병대대와 155mm K-55 자주포대대 두 경우에 있어서 동일하게 적용된 대안이다.

[표 11] 전투모의 분석 대안

[Table 11] Alternatives of battle simulation analysis

구분	내용	적용탄종
대안 (I)	ASRP 적용 후 탄약신뢰도 100% ⇨전투모의간 탄약소모량의 100% 보급	·40mm ·106mm ·60,81mm
대안 (II)	ASRP 적용 전 탄약신뢰도 100% ⇨전투모의간 탄약의 제한적 보급 (탄약 소모량의 85.4%)	·105,155mm ·130mm

전투 시나리오 작성에 있어서 작전지역은 전투모의에 적절한 지역을 선택하였으며, 사단 작전구역은 미래 적용성 고려하여 미래 보병사단 작전영역을 적용하였다 [13,14]. 적용된 전술은 현재 군 작전에 적용되고 있는 아군 전술과 북한군 전술을 그대로 적용함으로써 현실성을 보장하였다. 전투모의 결과는 청군 및 홍군의 손실 전투력지수(무기체계별전투력/소총 전투원 1명 전투력)를 산출한 후 이를 바탕으로 손실 교환율(홍군 손실 전투력 지수/청군 손실 전투력 지수)을 산출하여 전력효과를 계량적으로 판단하였다[15,16].

2.3.2.2 전투모의 I

105mm 견인포 3개대대와 155mm 견인포 1개대대로 구성된 보병 사단 포병대대의 전투모의 분석이다. 본 연구는 모의분석간 작전지역 및 공격·방어 책임지역 설정

등 전투 시나리오 작성, 공격 및 방어부대에 대한 전투편성, 공격 및 방어작전간 기동 및 화력계획 수립, 공격·방어를 위한 시간대별 전투국면 묘사 등 실질적인 전투모의가 될 수 있도록 현장감있게 전투모의를 유도하였다.

본 연구에서는 탄약보급 발수를 통제하는 방법으로 ASRP 전력효과를 묘사하였으며 전투모의 결과에서 얻은 피해 현황을 손실 전투력 지수로 환산하여 ASRP 적용 전·후의 청·홍군 전투력을 비교하였다. ASRP를 적용한 탄약은 전투모의시 탄약신뢰도를 100% 보장받아 탄약성능 제한없이 전투모의가 진행되었다. 하지만 ASRP를 적용하지 않은 탄약은 탄약신뢰도가 평균 85.4% 수준으로 저하되어 전투모의시 사격간 불발상황으로 묘사되었다. 전투모의에 적용된 탄종별 탄약 신뢰도 비율은 표 12와 같다.

[표 12] ASRP 전·후 탄종별 탄약신뢰도 비율

[Table 12] Rate of ammunition reliability before and after ASRP

구분	ASRP 적용 탄약 신뢰도 (100%)	ASRP 미적용				
		해당 탄종별 비율 적용 후 보급발수		해당 탄종별 비율 적용 후 사용발수		
		발수	비율(%)	발수	비율(%)	
소화기탄	K-4탄약 40mm	25,561	22,519	88.1	22,519	88.1
적사화기	전 차 탄 106mm	173	149	86.1	149	86.1
		60mm	1,675	1,444	86.2	1,444
박격포	81mm	5,673	4,924	86.8	4,803	84.7
	4.2'	2,361	2,205	93.4	2,170	91.9
곡사포	105mm	12,711	11,014	86.6	10,724	84.4
	155mm	6,636	5,382	81.1	5,339	80.5
기타	다련참	36	27	75.0	27	75.0
소계	-	54,826	47,684	85.4	47,175	84.6

표 13, 표 14는 전투모의후 청·홍군의 손실 전투력을 통해 산출한 손실 교환율이다. ASRP 적용 전·후 시뮬레이션 결과를 비교하므로써 ASRP가 군 전투력에 미치는 전력효과를 M&S 기법의 전투모의를 활용하여 분석하였다.

[표 13] 전투모의 후 피해현황 I

[Table 13] Extent of damage I after battle simulation

구분		청군전투력지수	홍군전투력지수
ASRP 후 탄약신뢰도 (100%)	시작	137,086	324,772
	결과	83,810	171,831
ASRP 적용 전	시작	137,086	324,772
	결과	78,452	169,254

[표 14] 전투모의 후 손실 전투력 지수 I
[Table 14] index I of loss strength after battle simulation

구분	청군손실 전투력지수	홍군손실 전투력지수	손실 교환율	손실 교환율 비율(%)
ASRP 후 신뢰도 (100%)	53,276	152,941	2.87	100
ASRP 적용 전	58,634	155,518	2.65	92

본 연구에서는 방어작전 전투모의시 105mm 견인포가 주력인 보병사단이 작전간 사용한 탄종의 ASRP 실적을 바탕으로 전력효과를 분석하였다. 전투모의 결과, ASRP는 불량탄약의 개수정비 및 폐처리를 통하여 저장 탄약의 신뢰성을 100% 보장함으로써 ASRP를 적용하지 않았을 경우와 비교할 때 약 8% 수준의 전투력 손실 방지 효과를 갖는 것으로 분석되었다.

2.3.2.3 전투모의II

155mm 자주포 3개대대와 155mm K-9 자주포대대로 구성된 기계화 보병 사단 포병대대의 전투모의 분석으로 전투모의 I 과 같은 방법으로 분석하였다. 전투모의II 결과, ASRP는 불량탄약의 개수정비 및 폐처리를 통하여 저장 탄약의 신뢰성을 100% 보장함으로써 ASRP를 하지 않았을 경우와 비교할 때 약 12% 수준의 전투력 손실 방지 효과를 갖는 것으로 분석되었다.

[표 13] 전투모의 후 피해현황 II
[Table 13] Extent of damage II after battle simulation

구분		청군전투력지수	홍군전투력지수
ASRP 후 탄약신뢰도 (100%)	시작	137,086	324,772
	결과	83,810	171,831
ASRP 적용 전	시작	137,086	324,772
	결과	78,452	169,254

[표 14] 전투모의 후 손실 전투력 지수 II
[Table 14] index II of loss strength after battle simulation

구분	청군손실 전투력지수	홍군손실 전투력지수	손실 교환율	손실 교환율 비율(%)
ASRP 후 신뢰도	52,997	161,276	3.00	100
ASRP 적용 전	56,777	151,344	2.65	88

2.3.3 전투모의 결과 분석

본 연구는 최근 5년간의 ASRP 데이터를 활용하여 ASRP의 전력증대 효과를 M&S 기법으로 검증한 결과로 두 가지 큰 의미가 있다. 첫째, 화력운용분석모델을 활용한 ‘전투모의’는 전투원, 화력, 작전계획, 지휘관 리더쉽 등 전장에 투입된 모든 유·무형 자산의 상호작용이 집약된 평가 결과이며, 포병전력을 포함한 사단의 핵심 무기체계 중 8개 탄종에 대한 전투효과를 분석한 자료이다. 본 연구는 청·홍군의 상호전투간 손실 교환율을 기준으로 ASRP를 적용하지 않았을 경우와 비교할 때 보병 사단의 경우 약 8%, 기계화 보병 사단의 경우 약 12% 수준의 전력손실 방지 효과가 있는 것으로 분석하였다. 둘째, 탄종에 따른 무기체계별 전투모의를 비교한 결과 ASRP의 전력증대 효과는 자체 파괴력이 큰 탄종 즉 105mm 보다는 155mm 탄약의 평가 결과가 더 커진다는 사실을 확인할 수 있었다. 파괴력이 큰 탄종일수록 전력증대 효과가 극대화된다는 점을 고려할 때 향후 재래식 탄약보다는 유도탄 및 고성능 탄약 위주의 ASRP 확대가 필요하다.

3. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 ASRP 데이터를 활용한 포병탄약의 효과적 관리를 통해 군 전투력 향상에 기여할 수 있는 방안으로 야전 저장탄약에 대한 저장분석시험 주기 설정, 시계열분석을 적용한 저장탄약수명 예측, ASRP의 전력효과 분석 등 다양한 관리 방법을 제시하였다.

첫째, 추진장약의 저장분석시험 주기 설정 연구의 경우, 최초 시험시기는 기존 10년에서 15년으로 5년 연장하였고, 재시험주기의 경우 개선전에는 매 5년을 주기로 일괄 평가하였으나 개선후에는 최초 시험에서 측정된 잔여안정제함량 결과에 따라 최소 2년에서 최대 10년까지 시험주기를 연장할 수 있도록 조정하였다.

둘째, ARIMA 및 회귀모델로 예측한 각각의 저장수명을 최소 및 최대의 구간값으로 활용함으로써 수명예측에 대한 불확실성을 보완하고 새로운 수명예측 방법을 제시하였다. ARIMA 및 회귀모델이 추정한 평균 및 신뢰수준 95% 신뢰구간 하한값의 저장수명은 42년~43년, 25년~35년의 구간값으로 예측하였다.

셋째, M&S 분석기법 중 화력운용분석모델로 검증한 ASRP의 전력향상 기여 효과는 약 8~13%의 전투력 손실 방지 효과가 있었으며 특히, 모든 전장의 유·무형 전투력 요소들의 집약 결과라는 점에서 큰 의미가 있었다.

향후 연구방향으로는 여러 가지 추진제의 추가적 데이터 확보를 통한 다양한 탄종의 수명예측과 새로운 통계

적 모델의 제시가 필요할 것이다. 또한, 국방 M&S 분야의 발전과 ASRP 중요성 대두에 따라 ASRP의 전력효과를 정밀하게 분석하고 평가할 수 있는 전용 알고리즘 및 프로그램 개발 또한 시급한 연구 분야이다.

평시 ASRP 활동은 탄약분야 전투준비태세 확립의 근간이며 핵심요소이다. 이번 연구는 ASRP 데이터가 담고 있는 여러 가지 의미를 분석하고 재해석함으로써 효과적인 탄약관리 방안의 새로운 패러다임을 제시하였다.

References

- [1] Jung Woo Lee, "An introduction to ASRP" Defense & Technology, 2010.5,
- [2] Defense Quality management Regulation('10.3.25)
- [3] Yong Hwa Kim, 『The report on the army ASRP's activities in '01~'09』, DTaQ, '01~'09
- [4] Geun Sig Yoon, "Statical analysis of ASRP data for Shelf-life estimation" Defense Quality Management Journal 2009.9.
- [5] Jong Chan Lee, "A study on the Shelf-life prediction the single base propellants using accelerated aging test", KSAM, 2007. 6
- [6] Box G. E. P. and Jenkins GM, "Time series analysis Forecasting and Control", 2nd. Holden-Day, San Francisco
- [7] Jung Woo Lee, "Prediction of the shelf-life of ammunition by time series analysis", MORS-K, 2011.3
- [8] Dong Bin Jung,, 「Time series demand forecast」, Hnanalea academy, 2009.
- [9] Box G. E. P. and Jenkins GM, "Time series analysis Forecasting and Control", 2nd. Holden-Day, San Francisco
- [10] Durbin, James, Koopman, Siem Jan, 『Time series analysis by state space models』, Oxford University Pr. 2001.1
- [11] Gourieroux, C, 『Time series and dynamic models』, Cambrige Univ. Pr. 1997.
- [12] Young Tackx Hur, 『The report on the army ASRP's activities in 2010』, DTaQ, 2011.6
- [13] KDIC, 『Corps-Division』, FM, 2009.3.
- [14] Army headquarters, 『Division』, FM, 2009.5
- [15] Zehna, P. M., "Selected Methods and Models in Military Operations Research", U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1971
- [16] Washburn, A. R. Search and Detectoin, "Military Operation Research Society of America", 1981

이 정 우(Jung-Woo Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 홍익대 금속공학과 (학사)
- 1999년 8월 : 홍익대 금속·재료 공학과(석사)
- 2012년 2월 : 한성대학교 산업시스템공학과 박사

<관심분야>

모델링&시뮬레이션, 저장탄약신뢰성평가(ASRP), Combat Analysis

홍 윤 기(Yoon-Ki Hong)

[정회원]



- 1980년 2월 : 고려대 산업공학 (학사)
- 1985년 8월 : USC OR (석사)
- 1989년 8월 : USC 산업시스템 공학(박사)
- 1989년 9월 ~ 1991년 2월 : 캘리포니아 주립대(노스리지)교수
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한성대학교 산업경영공학과 교수

<관심분야>

모델링&시뮬레이션, Combat Analysis