

自主砲 經濟壽命 決定에 關한 研究

A Study on the Determination for the Economic Life-Time of a Self-Propelled Artillery

최 은 성* 최 석 철**
Choi, Eun-Seong, Choi, Seok-Cheol

ABSTRACT

This research paper deals with the problem of determining the optimal life time in terms of economical sense for a self-propelled artillery.

Equivalent Annual Cost Method(EACM) is used to evaluate the optimal life time, based on the acquisition cost, and the operation and maintenance cost. It is assumed that the operation and maintenance cost includes the costs for spare parts, petroleum and ammunition for training.

From the result of this study, the optimal life time for a self-propelled artillery is between 13.9 years and 16.1 years with 95% confidence interval.

Keyword : Optimal Life Time(최적수명), Equivalent Annual Cost Method(등가연간비용 방법), Self-propelled Artillery(자주포).

1. 서 론

현대의 무기체계는 과학화, 정밀화, 첨단화되면서 획득단계에서 획득비가 점차 상승추세를 보이고 있다. 이러한 획득비의 상승은 상대적으로 운영/유지단계에서 운영유지비의 증가요인이 되고 따라서 과학적인 분석을 통한 경제적인 장비관리가 요구되고 있다.

본 연구는 자주포의 경제수명에 대한 연구로써, 어느 시기까지가 자주포의 성능에 대한 군의 요구를 가장 경제적으로 충족시킬 수 있는 기간인가를 판단

하는데 목적이 있으며, 이로써 자주포의 수명주기 교체 또는 재생활동에 대한 경제성의 평가와 적정 예산소요를 판단하는데 이를 제시하여 경제적인 무기체계 관리 및 효율적인 국방예산 소요 판단에 기여하기 위하여 군의 주요장비인 자주포의 경제수명을 산출하고자 한다.

연구 방법은 장비의 경제수명을 결정하는 모형 중 자주포의 경제수명 결정에 적합하다고 판단된 등가연간비용에 의한 방법(EACM: Equivalent Annual Cost Method)을 선정하여 연구를 하였고 다음의 두 가지 제한사항을 전제로 하였다.

첫째, 비용요소만을 고려한 자주포의 경제수명을 분석하였다. 즉, 경제수명에 직접적인 영향을 주는 요소는 장비의 사용기간과 주행거리 및 사격에 의한

* 육군 군수사령부

** 국방대학교 무기체계학과 교수

노후화 및 고장의 발생으로 소요되는 비용이 증가하게 됨으로써 경제수명은 비용에 의해서 결정할 수 있다.

둘째, 비용요소인 운영유지비는 수리부속비, 유류비, 교육훈련탄비만을 적용하였다. 운영유지비는 장비를 정상적으로 운영, 유지 및 폐기하는데 소요되는 비용으로서 수리부속품 소요자금, 연료 소요자금, 교탄 소요자금, 시설보수 소요자금, 정비 소요자금 등으로 구성되나, 시설보수 소요자금과 정비 소요자금은 매 주기 당 일정한 비용으로서 경제수명 결정에 직접적인 영향이 거의 없는 요소로서, 분석에서 제외하였다.

2. 경제수명 결정 이론

2.1 장비 경제수명

장비수명이란 장비가 고유의 운용목적을 유지하면서 사용되는 지속기간, 즉, 장비 본래의 기능을 효율적으로 수행할 수 있는 지속기간을 말하며, 이러한 장비수명에는 해당장비의 특성에 따라 경제수명과 유효수명으로 구분된다.

장비의 경제수명이란 장비의 성능에 대한 군의 요구를 가장 경제적으로 충족시킬 수 있는 지속기간을 말하는 것으로, 장비의 경제수명을 분석하는 것은 장비 교체기준 수립에 기여하고, 장비의 재생활동에 대한 경제성을 평가하여 예산낭비요인을 억제하며, 현 장비 보유수준에 대응하는 운영유지비 소요산정시 적정예산규모를 제시하는데 그 목적이 있다[17].

장비유효수명이란 장비의 운용특성상 경제적인 면을 고려할 필요가 없이 장비의 성능이 군의 요구를 충족시킬 수 있는 지속기간을 말하는 것으로, 비록 경제수명을 초과하여 경제적 손실이 있다 하더라도

도 그 장비를 계속 운용하는 것이 군의 요구를 효과적으로 충족시킬 수 있을 때 이를 적용한다.

2.2 경제수명 결정 모형

2.2.1 평균체계비용에 의한 방법(ASCM: Average System Cost Method)

이 방법은 연간평균투자비와 연간평균유지비의 합계로 이루어지는 연간평균체계비용이 최소가 되는 시점을 그 장비의 경제수명으로 결정하는 방법이다. 연간평균투자비란 최초 투자비를 장비운용년수로 나눈 값을 말하며, 연간평균유지비란 누적유지비를 경과년수로 나눈 값을 말한다[17].

이를 수식으로 나타내면, 장비운용기간(n)에 해당되는 총비용 Tc(n)는 다음과 같다.

$$Tc(n) = I - R + \sum_{j=1}^n C_j \quad (2-1)$$

여기에서, I : 투자비(장비구입비),

R : n기말 장비의 잔존가치,

C_j : j 기말 장비 운영유지비.

위 식(2-1)에서 수명을 다한 운용장비는 장비 불용 처리시 잔존가치가 무시되므로 여기서, 장비잔존가치(R) = 0 이다. 따라서 식(2-1)은 다음과 같다.

$$Tc(n) = I + \sum_{j=1}^n C_j \quad (2-2)$$

식(2-2)에서 n 기말의 연간평균체계비용을 ASC(n)라 할 때 ASC(n)은 n기말 까지의 투자비와 누적유지비를 장비운용기간인 n으로 나눔으로써 구할 수 있다.

$$ASC(n) = \frac{Tc(n)}{n} = \frac{I}{n} + \frac{\sum_{j=1}^n C_j}{n} \quad (2-3)$$

따라서 평균체계비용에 의한 방법은 식(2-3)에서 산출한 ASC(n)이 최소의 값이 되는 장비운용기간(n)을 해당장비의 경제수명으로 결정하는 것이다. 즉 다음의 식(2-4)을 만족하는 ASC(n)시점(n: 운용기간)을 장비의 경제수명으로 결정한다.

$$ASC(n-1년) > ASC(n년) < ASC(n+1년) \quad (2-4)$$

2.2.2 누적유지비에 의한 방법

누적유지비에 의한 경제수명 산출방법은 장비의 최초투자비와 장비에 사용된 수리부속비가 같아지는 시점을 경제수명으로 결정하는 간단한 방법이다[3].

장비에 사용된 총 누적비용을 Y라 하면 다음과 같다.

$$Y = I - R + Ax + Bx^2 \quad (2-5)$$

여기에서

I : 투자비(장비구입비),

R : 장비 잔존가치,

Ax : 주행거리(x)에 비례하는 유류비,

Bx²: 수리부속비, 여기서 단위 거리당 평균유지비 (Bx)는 주행거리(x)의 선형함수로 가정한다.

식(2-5)에서 단위거리당 총비용은 다음과 같다.

$$\frac{Y}{x} = \frac{I-R}{x} + A + Bx \quad (2-6)$$

장비의 경제수명은 단위거리당 총비용이 최소가 되는 시점이므로 식(2-6)을 주행거리(x)에 대해 미분하고, 단위거리당 총비용을 0으로 두면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{Y}{x} \right] = -\frac{I-R}{x^2} + B = 0 \quad (2-7)$$

여기에서 수명을 다한 군용장비는 장비불용처리

시 잔존가치가 무시되므로 장비의 잔존가치(R) = 0 이므로 식(2-7)은 다음과 같다.

$$I = Bx^2 \quad (2-8)$$

따라서 누적유지비용에 의한 경제수명 산출방법은 장비의 최초투자비가 수리부속비와 같아지는 시점을 경제수명으로 결정한다.

2.2.3 등가연간비용에 의한 방법(EACM: Equivalent Annual Cost Method)

등가연간비용에 의한 방법은 총비용요소인 투자비와 누적유지비의 합인 총비용을 연차별 지불되는 등가로 환산하여 산출한 자본회수비(CR)와 등가유지비(EC)의 합인 등가연간비용(EAC)이 최소가 되는 시점을 장비의 경제수명으로 결정하는 방법으로 등가연간비용의 관계식은 다음과 같다[11].

$$EAC = CR + EC \quad (2-9)$$

자본회수비(CR: Capital Recovery With Return)란 초기에 투자된 투자비용(I)은 종년에 장비의 가치가 0이 될 때, 매년마다 일정액만큼 회수되어 종년에는 그 장비에 투자된 모든 자본이 회수되는 것을 말한다. 따라서 자본회수비(CR)는 초기의 장비구입비인 투자비(I)에 자본회수계수(A/P)를 곱하는 다음의 식(2-10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CR = (I) \cdot \frac{A}{P} \quad (2-10)$$

등가유지비(EC: Equivalence Cost)는 장비운용기간 중 사용된 유지비를 현가(Present-worth)로 환산한 후 당해년도까지 누적한 현가누계에 자본회수계수(A/P)를 곱하여 산출한다. 따라서 등가유지비는 다음의 식(2-11)과 같다.

$$EC = \left[\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \frac{A}{P} \quad (2-11)$$

이 식에서 C_j : j 기말 운영유지비,
 i : 년간이자율
 j : 장비운용기간.

따라서 등가연간비용(EAC)은 식(2-9)에서와 같이 자본회수비(CR)와 등가유지비(EC)의 합으로 산출되므로 식(2-10)과 식(2-11)에 의해 다음과 같은 식으로 나타낸다. 즉, 장비의 잔존가치가(R) = 0 인 장비의 운용기간(n)말의 등가연간비용(EAC)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} EAC(n) &= CR + EC \\ &= (I) \cdot \frac{A}{P} + \left[\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \frac{A}{P} \\ &= \left[I + \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \end{aligned}$$

등가연간비용에 의한 방법은 등가연간비용(EAC)이 장비운용기간 중 최소의 값이 되는 시점을 경제수명으로 결정한다. 즉, 다음과 같은 조건을 만족시키는 시기(n)가 해당 장비의 경제수명으로 결정된다.

$$EAC(n-1년) > EAC(n년) < EAC(n+1년)$$

2.3 경제수명 결정모형 선정

장비의 경제수명을 결정하는 모형들에 대한 연구 결과 본 연구에 적용할 모형으로 등가연간비용에 의한 방법(EACM: Equivalent Annual Cost Method)을 선정하였다. 다른 모형을 본 연구에 적용하는데 있어서 문제점은 다음과 같다.

첫째로, 평균체계비용에 의한 방법(ASCM: Average System Cost Method)은 가장 일반적인 방법이라는 장점이 있지만, 평균투자비와 평균유지비를 합한 값을

총비용을 보고 이 값이 최소가 되는 시점을 경제수명으로 결정하고 있는데, 여기서 평균비용이 화폐의 시간적 가치를 고려하지 않고 있는 점에 문제점이 있는 것이다.

둘째로, 누적유지비에 의한 경제수명 산출방법은 단위거리당 소요된 평균유지비가 주행거리에 선형함수라는 가정하에 장비의 최초투자비와 장비에 사용된 수리부속비가 같아지는 시점을 경제수명으로 결정하고 있는데, 이 모형은 가정사항에 대한 평가가 선행되어야 하는 점과 비용 역시 평균체계비용에 의한 방법과 동일한 문제점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 비용에 대한 시간적 가치의 변화와 투자비에 대한 감가상각비를 고려하고 있는 등가연간비용에 의한 방법을 자주포의 경제수명 결정에 적합한 산출모형으로 선정하였다.

3. 경제수명 결정을 위한 비용함수 추정

3.1 비용함수 추정 절차

본 연구의 목적을 달성하기 위한 자료의 수집은 실제 야전에서 운용한 자주포의 운용실적인 장비등록증, 장비정비기록부, 장비종합이력부, 화포이력부 등을 수집하였다.

자료의 처리는 각 비용에 대하여 1998년을 기준으로 현가로 환산하여 적용하였고, 유지비용에 대한 비용함수의 추정은 수집한 자료를 정리하여 SPSS WIN을 이용한 중회귀분석으로 회귀식을 추정하였다.

이 회귀식에 대한 적합성과 타당성을 검증하여 유지비용 함수로 채택하였다. 추정된 비용함수에 의한 유지비용을 산출하고 자본회수계수를 적용하여 등가연간비용으로 환산 후 이를 분석하여 순환정비 시기를 결정하였다.

3.2 비용함수 관련 자료의 분석

자주포 장비의 등록 및 운용실적을 기록한 장비등록증, 장비종합이력부, 장비정비기록부, 화포이력부에서 장비별/년도별로 장비구입비(투자비), 사용기간, 주행거리, 발사탄수, 유류비, 수리부속비, 교육훈련탄비 등의 자료를 수집하였다.

수집한 자료는 각 표본에 대한 년도별 실적을 집계하고 이를 산술평균하여 정리하였는데 증가유지비를 산출하기 위하여 과거 사용된 유지비용에 현가를 적용하였으며, 장비운용10년간의 실적을 이용한 비용함수를 추정함에 따라 1998년도 말을 기준으로 현가로 환산한 후 분석에 사용하였다.

즉, 자주포를 운용한 시점부터 현재까지 집행된 유지비용은 과거비용으로서 이 비용에 대한 평가분석 시점인 현재의 가치로 환산하기 위하여 식(3-1)을 적용하였다[10].

$$P = C_j(1 + i)^j \quad (3-1)$$

여기에서,

P : 과거발생 비용 C_j 의 현재 가치,

C_j : j 기말 운영유지비,

i : 년간이자율

j : 장비운용기간.

(표 3-1) 자주포 운용실적 및 유지비 현황

운용 기간	누적주행거리 (Km)	누적발사탄수 (발)	누적 유지비 (천원)
1년	732	12.6	18,339
2년	1,980	25.0	38,005
3년	3,015	38.9	64,030
4년	4,221	51.2	90,071
5년	5,069	66.9	119,456
6년	5,789	80.6	148,719
7년	6,489	96.5	172,628
8년	6,999	111.9	199,105
9년	7,472	124.6	216,902
10년	8,142	140.5	236,501

위와 같은 방법으로 수집된 자료를 본 연구에서 필요한 형태로 분석 및 처리하여 그 결과를 표 3-1에 정리하였다.

3.3 비용함수 추정

3.3.1 비용함수 추정방법

등가연간비용에 의한 방법을 적용하여 자주포의 경제수명을 결정하는데 가장 중요한 요소는 유지비용을 추정하는 비용함수로서, 자주포의 특성을 고려한 비용함수를 추정하기 위하여 주행거리와 발사탄수를 동시에 독립변수로 적용하는 중회귀분석 방법을 적용하였다.

즉, 비용함수의 추정은 중회귀분석으로 SPSS WIN을 이용하였으며 누적주행거리를 독립변수 X_1 , 누적발사탄수를 독립변수 X_2 로 하고 유지비를 종속변수 Y 로 설정하였다.

다음의 표 3-2는 중회귀분석을 실시하여 비용함수를 추정한 결과이다.

(표 3-2) 비용함수 추정 결과

유지비용 함수식	R^2	F-Test	α	Durbin-W atson
$Y=7837X_1$ $+1326000X_2$ -8116894	0.998	1533	0.000	1.225

추정된 비용함수식은 타당성과 적합성의 검정을 통하여 그 추정식의 정도(精度)와 수집된 자료가 실제 모집단을 어느 정도 잘 설명해 주고 있는지를 확인함으로써 가장 적합한 비용함수를 결정한다.

3.3.2 추정된 비용함수의 타당성 검정

3.3.2.1 잔차의 독립성 검정

잔차의 독립성 검정은 오차항 간에는 자기상관이 없다라는 가정사항을 검정하는 것으로 여기서 자기상관 현상 여부는 Durbin-Watson 테스트 방법으로 실시하는데 표 3-3을 적용한다.

[표 3-3] Durbin-Watson 검정 기준치

One-side test	Two-side test
Ho : 오차항의 자기상관이 존재하지 않는다. Ha : 오차항의 자기상관이 존재한다.	
D < D _l 이면, Ho기각 D > D _u 이면, Ho채택 D _l ≤ D ≤ D _u 이면, 불확실	D* < D _l 이면, Ho기각 D* > D _u 이면, Ho채택 D _l ≤ D* ≤ D _u 이면, 불확실 (여기서, D* = 4D)

추정된 비용함수의 Durbin-Watson 임계치는 $D_l = 0.95$ 이고, $D_u = 1.54$ 이다. 따라서 Durbin-Watson 의 값이 $2.46 > D > 1.54$ 일 때 Ho를 채택하는데 추정식의 Durbin-Watson 값은 1.225로서 추정식은 불확실 영역에 있다.

즉, 이 추정식에 대한 검정 결과는 추정된 회귀계수가 비록 불편성(不偏性, Unbiasedness)을 만족한다 하더라도 최적합치일 수는 없으며 신뢰구간의 결정이나 가설검정에 이용되는 t 분포, F 분포는 적합한 분포가 아니며 결정계수 R^2 값을 증가시키는 경향이 있는 것으로, 추정식을 본 연구에 적용할 경우에는 추정된 유지비용은 신뢰도가 높다고 할 수 없다.

따라서 이 자기상관을 제거해야 본 연구에서 요구하는 보다 적합한 추정식을 얻을 수 있는 것이다. 자기상관의 제거는 표본의 크기가 작을 때 자기상관계수(ρ)의 추정값인 r 을 식(3-2)의 등식으로 구하여 독립변수와 종속변수를 변환시키는 OLS(Ordinary Least Squares)방식을 적용하여 제거한다[9].

$$r = \frac{n^2(1 - D/2) + k^2}{n^2 - k^2} \quad (3-2)$$

n 은 표본의 수이고, D 는 Durbin-Watson의 D 통계량이며, k 는 추정된 회귀계수의 숫자이다. 독립변수와 종속변수의 변환은 자기상관계수의 추정값을 각각의 독립변수와 종속변수에 적용하는 다음의 식을 이용하여 구한다.

$$Y'_1 = \sqrt{1 - r^2} \cdot Y_1 \quad (i=1)$$

$$Y'_i = Y_{i-r} \cdot Y_{i-1} \quad (i=2, 3, 4, \dots, n)$$

$$X'_1 = \sqrt{1 - r^2} \cdot X_1 \quad (i=1)$$

$$X'_i = X_{i-r} \cdot X_{i-1} \quad (i=2, 3, 4, \dots, n)$$

위 식을 이용하여 새로운 회귀모형을 구성하면 회귀모형은 다음과 같은 형태로 재정리 될 수 있다.

$$Y'_i = \alpha' + \beta'_1 X'_{1i} + \beta'_2 X'_{2i} + \dots + \beta'_k X'_{ki} + \epsilon'_i \quad (i=2, 3, 4, \dots, n)$$

식(3-4)의 회귀모형을 이용하여 추정된 비용함수는 다음과 같다.

[표 3-4] 자기상관을 제거한 비용함수 추정 결과

유지비용 함수식	R ²	F-Test	α	Durbin-Watson
$Y = 16617X_1 + 936169X_2 - 14883558$	0.993	455	0.000	1.852

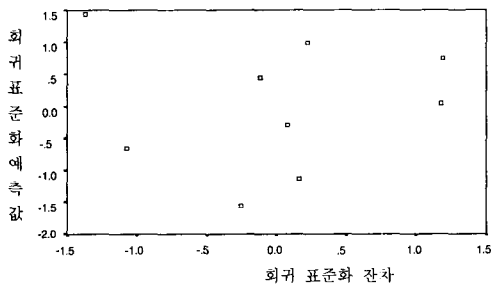
자기상관을 제거하여 추정한 표 3-4의 비용함수 추정식은 Durbin-Watson값은 1.852로서, Durbin-Watson 검정결과 Durbin-Watson의 임계치 $D_l = 0.95$, $D_u = 1.54$ 에서 $D > 1.54$ 이므로 Ho 채택한다. 따라서 표 3-4의 비용함수 추정식은 자기상관이 없다고 할 수 있다.

3.3.2.2 잔차의 등분산성 검정

잔차의 등분산성 검정은 독립변수 X의 값이 변할 때 오차의 확률분포의 분산이 항상 균일해야 한다는 가정에 대한 검정으로 오차항이 등분산성(Homoscedasticity)을 지녀야 한다. 이는 종속변수의 표준화된 잔차를 독립변수 X에 대한 산점도를 통해서 알 수 있는데, 이 산점도의 모양이 가로축과 세로축이 0을 중심으로 특정한 형태를 보이지 않을 때 종속변수의 분산이 독립변수에 대하여 등분산성을 가진다는 가정을 충족하는 것이다[1]. 그림 3-2는 이 비용함수 추정식의 산점도로 잔차들이 0을 중심으로 완전히 랜덤(Random)한 상태로서 이 추정식은 회귀모형의 등분산성 가정에 충족함을 알 수 있다.

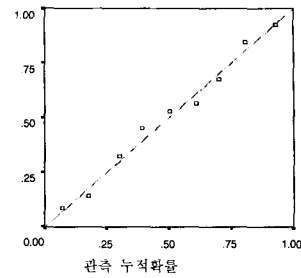
3.3.2.3 잔차의 정규성 검정

잔차의 정규성 검정은 오차들이 회귀선을 중심으로 정규분포를 이루어야 한다는 가정에 대한 검정을 말하며, 종속변수(Y)의 분포를 점검함으로써 확인될 수 있다. 즉 잔차의 정규분포 가정을 검정하기 위해서는 잔차의 정규분포 산포도로서 확인하는데 잔차의 형태가 대각선으로 직선의 형태를 가질 때 정규분포를 한다고 한다.



(그림 3-2) 비용함수 추정식의 산점도

그림 3-3은 이 추정식에 대한 잔차의 정규분포 산포도로서 잔차의 형태가 대각선의 직선형태를 나타내고 있어 잔차가 정규분포를 한다고 할 수 있다.



(그림 3-3) 비용함수 추정식의 정규분포 산포도

3.3.3 비용함수의 적합성 검정

일반적으로 추정회귀식의 적합성은 결정계수(R^2)와 F검정 및 t검정에 의한 유의성을 검정함으로써 판단할 수 있다.

3.3.3.1 결정계수(R^2)

결정계수(R^2)는 독립변수의 종속변수에 대한 설명력의 크기를 나타내는 척도로서 총변동 중에서 함수식에 의해서 설명되는 비율을 의미하는 것을 말한다. 이 추정식은 결정계수가 0.993으로 유지비의 99.3%가 독립변수들에 의해서 설명된다는 것을 의미하고 있다. 이 결정계수(R^2)의 범위는 $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 값을 갖는데 그 값이 1에 가까울수록 회귀식에 의한 설명력이 강한 상관관계를 의미한다. 따라서 표 3-4의 추정식은 회귀식에 의한 설명력이 아주 높다고 할 수 있다.

3.3.3.2 유의성 검정

유의성 검정은 독립변수들의 총체적인 유의도를 검정하는 F검정과 독립변수들의 개별적인 유의도를 검정하는 t검정으로 실시한다.

첫째로, F검정은 비용함수식의 회귀계수가 통계적으로 유의한지를 검정하는 것으로 검정통계량 값과 기각치를 비교해서 귀무가설을 기각해야 비용함수식이 유의한 것이다.

즉, 유의성 검정을 위한 귀무가설은 다음과 같으

며 이 귀무가설의 의미는 종속변수를 의미 있게 설명할 수 있는 독립변수는 하나도 없다는 것을 말한다. 이 귀무가설을 채택하면 회귀모형은 성립하지 않는다고 결론지을 수 있다.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0 \quad (\beta_1, \beta_2 = \text{회귀계수}),$$

$$H_a : \beta_1 \text{이나 } \beta_2 \text{ 중 최소한 하나는 0이 아니다.}$$

이 귀무가설은 F-test를 실시하여 검정하는데 $F > F_{\alpha}(P, n-p-1)$ 이 기각역이 되며, 여기서 본 추정식의 F값은 455.2이고, F분포표에서 유의수준 $\alpha = 0.05$, 독립변수 2, 관찰회수 9인 기각치 $F_{0.05}(6) = 5.14$ 이다. 따라서 본 추정식의 검정통계량(F값)은 $455.2 > 5.14$ 로서 기각치 보다 충분히 크므로 귀무가설은 기각되며, 또한 유의수준도 0.000으로 통계적으로 매우 유의한 회귀식임을 확인할 수 있다.

둘째로, t검정은 각 독립변수가 개별적으로 종속변수의 변화를 설명하는데 유의한지의 여부를 확인하는 것으로, 귀무가설을 다음과 같이 설정하고 추정식의 검정통계량 값과 기각치를 비교해서 검정통계량 값이 기각치 보다 커야 귀무가설을 기각한다.

$$\text{독립변수 } (X_1) \quad H_0 : \beta_1 = 0, \quad H_a : \beta_1 > 0,$$

$$\text{독립변수 } (X_2) \quad H_0 : \beta_2 = 0, \quad H_a : \beta_2 > 0.$$

위 가설에 대한 기각역은 $t > t_{\alpha}(n-p-1)$ 이며, 본 추정식의 t값은 독립변수 $X_1(t = 2.37, \text{유의수준: } 0.045)$, 독립변수 $X_2(t = 2.86, \text{유의수준: } 0.029)$ 이고 기각치는 t분포표에서 $\alpha = 0.05$, 독립변수 2, 관찰회수 9인 기각치 $t_{0.05}(6) = 1.94$ 이다. 따라서 독립변수들의 검정통계량 값은 기각치 보다 크므로 귀무가설은 기각되며 또한 각 독립변수들의 유의수준도 $\alpha = 0.05$ 보다 작아 각 독립변수들이 종속변수의 변화를 설명하는데 매우 유의하게 검정되었다.

3.3.4 비용함수 결정

자주포의 경제수명을 결정하기 위하여 추정된 유지비용 함수에 대한 타당성과 적합성을 검정하면서 최초 추정된 회귀함수의 결점을 보완한 비용함수 추정식 표 3-4은 본 연구의 목적을 결정하는데 매우 정도(精度)가 높고 합리적인 결과를 나타내고 있다.

따라서 본 연구에서 등가연간비용에 의한 방법을 이용하여 자주포의 경제수명을 결정하는데 필요한 유지비용에 대한 산출은 다음의 비용함수식(3-3)을 본 연구에 적용하였다.

$$Y = 16617X_1 + 936169X_2 - 14883558 \quad (3-3)$$

여기서 Y : 유지비용 함수,
 X_1 : 주행거리(Km),
 X_2 : 발사탄수(발).

4. 자주포의 경제수명 결정

4.1 비용요소 산출

4.1.1 등가유지비 산출

등가유지비의 산출은 앞에서 추정된 비용함수를 이용하여 유지비용을 구하고 이 유지비용에 자본회수계수를 곱한 값을 말한다. 등가유지비를 EC(n)이라 할 때 다음과 같다.

$$EC(n) = \left[\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \frac{A}{P}$$

$$= \left[\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

등가유지비용을 산출하기 위하여 추정된 비용함수 식(3-5)에 대입할 주행거리(X_1)와 발사탄수(X_2)는 주행거리 및 발사탄수의 운용실적자료를 이용 각각에 대한 곡선회귀분석을 통해 얻어진 회귀식을 이용

하여 산출한 값인 X_1 과 X_2 를 식(3-3)에 대입하여 유지비용을 산출하였다.

주행거리(X_1)와 발사탄수(X_2)를 추정하기 위해 실시한 회귀식은 표 4-1과 같으며 각 회귀식의 적합성을 검증한 결과 가장 적합한 식을 선정하였다.

등가유지비의 산출절차는 위에서 추정한 주행거리(X_1)와 발사탄수(X_2) 추정식을 이용하여 주행거리(X_1)와 발사탄수(X_2)의 값을 구하고, 이 값들을 비용함수식(3-5)에 대입하여 유지비용을 산출하였다.

[표 4-1] 주행거리(X_1), 발사탄수(X_2) 추정함수 결과

구분	회귀식	R ²	F-Test	유의도
주행거리	$X_1=3N^3-101N^2+1598N-813$	0.999	2337	0.000
발사탄수	$X_2=0.1N^2+12.9N-1.0$	0.999	11502	0.000

이 유지비용에 자본회수계수를 적용하여 산출한 등가유지비 결과는 표 4-2과 같다.

[표 4-2] 등가유지비 산출결과

운용년수	주행거리(Km)	발사탄수(발)	유지비용(천 원)	등가유지비(천 원)
1년	687	12	7,787	8,882
2년	2,001	25	42,114	25,595
3년	3,149	39	73,896	31,862
4년	4,148	53	103,443	35,546
5년	5,018	67	131,064	38,232
6년	5,777	81	157,066	40,457
7년	6,444	96	181,760	42,463
8년	7,036	110	205,453	44,379
9년	7,574	125	228,455	46,287
10년	8,074	141	251,074	48,247
11년	8,557	156	273,619	50,305
12년	9,040	172	296,399	52,503

13년	9,542	188	319,723	54,876
14년	10,081	204	343,899	57,462
15년	10,677	221	369,237	60,296
16년	11,348	238	396,045	63,411
17년	12,112	254	424,632	66,845
18년	12,988	272	455,306	70,632
19년	13,995	289	488,377	74,809
20년	15,150	307	524,153	79,414
21년	16,474	325	562,943	84,483
22년	17,938	343	605,056	90,050
23년	19,698	361	650,801	96,169
24년	21,636	380	700,468	102,864

4.1.2 자본회수비 산출

자본회수비는 산출하고자 하는 n기말에서 투자비에 자본회수계수를 곱한 값으로 산출한다. 따라서 자본회수비를 CR(n)이라 할 때 다음의 식으로 산출하고 결과는 표 4-3와 같다.

$$CR(n) = I \cdot \frac{A}{P} = (I) \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

[표 4-3] 자본회수비 산출결과

운용년수	자본회수비(천 원)	운용년수	자본회수비(천 원)
1년	1,082,429	13년	162,883
2년	576,763	14년	158,569
3년	409,176	15년	154,969
4년	326,102	16년	151,946
5년	276,827	17년	149,390
6년	244,444	18년	147,219
7년	221,705	19년	145,367
8년	204,988	20년	143,782
9년	192,277	21년	142,420
10년	182,362	22년	141,246
11년	174,475	23년	140,234
12년	168,101	24년	139,358

4.2 경제수명 결정

4.2.1 등가연간비용 산출

등가연간비용의 산출은 자본회수비와 등가유지비의 합으로서 앞에서 구한 비용요소 들을 다음의 식에 적용하여 산출한다.

$$\begin{aligned}
 EAC(n) &= CR + EC \\
 &= (I) \cdot \frac{A}{P} + \left[\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \frac{A}{P} \\
 &= \left[I + \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \right] \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]
 \end{aligned}$$

위 식을 적용하여 산출한 등가연간비용의 결과는 표 4-4와 같다.

4.2.2 자주포 경제수명 결정

4.2.2.1 등가연간비용에 의한 방법 적용 결과

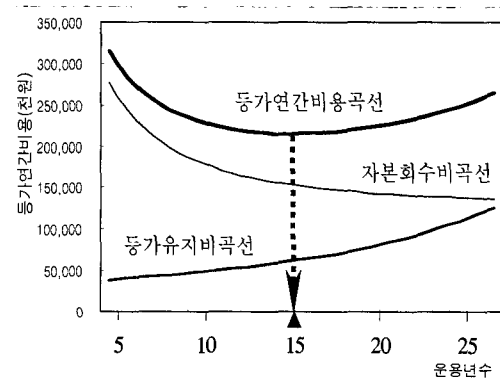
지금까지 자주포의 경제수명 결정을 위하여 야전에서 수집한 자료인 자주포의 운용실적을 기준으로 각 비용요소 들을 산출하고 등가연간비용에 의한 방법에 의한 등가연간비용을 구하였다.

표 4-4의 등가연간비용 산출결과에서 등가연간비용이 최소가 되는 시기는 운용기간 15년차이며, 이를 그림으로 도식화하면 그림 4-1과 같다.

[표 4-4] 등가연간비용 산출결과

운용년수	자본회수비	등가유지비	등가연간비용
1년	1,082,429	8,882	1,091,312
2년	576,763	25,595	602,358
3년	409,176	31,862	441,037
4년	326,102	35,546	361,648
5년	276,827	38,232	315,059
6년	244,444	40,457	284,901
7년	221,705	42,463	264,168

8년	204,988	44,379	249,367
9년	192,277	46,287	238,564
10년	182,362	48,247	230,609
11년	174,475	50,305	224,780
12년	168,101	52,503	220,603
13년	162,883	54,876	217,760
14년	158,569	57,462	216,031
15년	154,969	60,296	215,265
16년	151,946	63,411	215,357
17년	149,390	66,845	216,235
18년	147,219	70,632	217,852
19년	145,367	74,809	220,177
20년	143,782	79,414	223,195
21년	142,420	84,483	226,902
22년	141,246	90,055	231,301
23년	140,234	96,169	236,403
24년	139,358	102,869	242,222



(그림 4-1) 등가연간비용곡선 산출 결과

4.2.2.2 자주포 경제수명 결정

자주포의 경제수명은 등가연간비용이 최소가 되는 시점인 장비운용기간 15년차가 가장 적합한 시기로 산출되었다.

이것은 비용함수를 추정시 자주포의 특성을 고려

하여 유지비용을 결정하는 독립변수를 주행거리와 발사탄수를 동시에 적용한 결과이며, 이를 비교하기 위해 독립변수를 주행거리만을 적용했을 때와 발사탄수만을 적용했을 때의 결과를 산출해 본 결과 주행거리만 적용시는 16년으로, 발사탄수만을 적용시는 15년으로 경제수명이 산출되었다. 따라서 주행거리와 발사탄수를 동시에 적용하여 산출한 본 연구의 결과는 적합한 시기라고 판단된다.

또한 신뢰구간의 추정은 등가유지비에 대한 분산을 고려하여 독립변수의 값(X_1, X_2)에서의 유지비용(Ea)에 대한 구간추정량을 다음의 식을 적용하여 산출하였다[16].

<유지비용(Ea)의 $100(1-\alpha)\%$ 신뢰구간>

$$Ea = Y' \pm t(n-k-1, \alpha/2) \sqrt{x' (X'X)^{-1} x \cdot MSE}$$

여기에서,

Y' : 독립변수의 값(X_1, X_2)에서의 유지비용

x : 독립변수의 값 행렬(1, X_1, X_2)

x' : x 의 전치행렬

$X (X')$: 독립변수들의 행렬(전치행렬)

MSE : 오차제곱평균

위 식을 이용하여 등가연간비용이 최소가 되는 15년 시점의 독립변수의 값($X_1=10677, X_2=220.78$)에 의해 산출된 유지비용에 대한 95% 신뢰구간을 추정한 결과는 다음과 같다

$$Y' = 369,237,155$$

$$x' = [1 \quad 10677 \quad 220.78]$$

$$x = \begin{bmatrix} 1 \\ 10677 \\ 220.78 \end{bmatrix}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^n (Y_i - Y')}{n - k - 1}$$

$$= 12,739,993,785,021$$

$$(X'X)^{-1}$$

$$= \begin{bmatrix} 4.8066522 & -0.0039337 & 0.1675461 \\ -0.0039338 & 0.0000038 & -0.0001764 \\ 0.1675461 & -0.0001764 & 0.0083460 \end{bmatrix}$$

$$Ea = Y' \pm t(n-k-1, \alpha/2) \sqrt{x' (X'X)^{-1} x \cdot MSE}$$

$$= 369,237,155 \pm t(6, 0.025)$$

$$\sqrt{(9.61) \cdot (12,739,993,785,021)}$$

$$= 369,237,155 \pm 27,075,734$$

$$= (396,312,889 \sim 342,161,421)$$

신뢰구간을 추정한 결과를 장비운용년수로 환산하면 13.9년에서 16.1년으로, 이것은 95%의 신뢰수준을 갖는 자주포의 경제수명은 13.9년에서 16.1년 사이라고 할 수 있다.

5. 결 론

장비의 경제수명을 분석하는 목적은 장비의 교체 계획을 수립하거나 재생활동에 대한 경제성의 평가 및 적정 예산소요를 판단하는데 활용하고자 하는데 있다.

본 연구는 자주포에 대한 경제수명을 결정하는데 목적을 두고 이를 달성하기 위해 장비의 경제수명 판단 모형 중 적합하다고 판단된 등가연간비용에 의한 방법을 적용하여 연구를 하였다.

연구의 결과로 자주포의 경제수명은 등가연간비용이 최소가 되는 시점인 15년차 및 주행거리를 적용시는 10,677 Km인 시점으로 95%의 신뢰수준을 고려할 때 경제수명은 13.9~16.1년 및 주행거리로는 10,042Km~11,355Km로서, 장비를 운용 후 이 시기까지가 자주포의 기능에 대한 군의 요구를 가장 경제적으로 충족시킬 수 있는 지속기간으로 판단되었다.

따라서 본 연구의 결과는 위의 경제수명을 분석하

는 목적에 부합되는 자주포와 관련된 분야에 활용될 것으로 기대된다.

특히, 자주포의 경제적인 관리측면에서 본 연구의 결과는 자주포의 전체 수명주기를 고려할 때 장비교체나 재생활동 계획 수립 및 적정 예산소요를 판단하는데 활용될 것으로 기대되며 국방예산의 절감에 기여하게 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강병서, 한글 SPSS 사회과학 통계분석, 자유아카데미, 1998. p. 213
2. 구자홍, 통계학, 자유아카데미, 1996
3. 국방관리연구소, 군용장비 수명결정 연구, 1980, p. 13
4. 국방대학원, 무기체계 RAM이론과 응용, 1995.
5. 국방대학원, 무기체계 평가분석기법과 응용사례, 1994
6. 국방부, 국방군수용어편람, 1991.
7. 군수사령부, 종별군수업무수행지침서(I, II), 1997
8. 교육사령부, 군수지원분석 실무지침서, 1998
9. 김두섭, 사회과학을 위한 회귀분석, 법문사, 1993. pp. 163-164
10. 김성집, 현대경제성공학, 창지사, 1981. pp. 82-84
11. 김영휘 외4 역, 경제성공학, 청문각, 1993. pp. 263-270
12. 박경수, 신뢰도공학 및 정비이론, 회중당, 1993
13. 박경수, 신뢰성개론, 영지문화사, 1998
14. 박태유 외3, 무기체계 평가분석방법론, KIDA, 1996
15. 안상수 · 이명호, 현대통계학, 학현사, 1997
16. 염준근, 선형회귀분석, 자유아카데미, 1991. pp. 211-212
17. 원찬권 외1, 현대군수관리, 병학사, 1989. p. 362
18. 육군본부, 육군규정 432. 장비 및 물자정비규정, 1998
19. 육군본부, 종합군수지원 정량화 설정기준, 1998
20. 이상용, 신뢰성공학, 형설출판사, 1992
21. 이준형, 통계분석, 대영문화사, 1998.
22. 이해용 외3, 155mm 자주포의 발달과 발전 추세, 국품연, 1991
23. 장기덕 · 권혁진, 장비경제수명 연구, KIDA, 1992
24. 정비관리, 육군종합군수학교, 1996
25. 정충영 외1, SPSSWIN을 이용한 통계분석, 무역경영사, 1998
26. 조덕운 역, OR 개론, 연경문화사, 1998
27. 최성빈 외2, 전차 · 장갑차 · 자주포의 창정비 정책연구, KIDA, 1990
28. 한국은행, 경제통계연보, 1986~1998.
29. Blanchard, B. S. & Fabrycky, W. J., *System Engineering And Analysis*, 3 rd ed., Prentice-Hall, 1981
30. G. J. Thuesen & W. J. Fabrycky, *Engineering Economy*, 6 th ed, 1984
31. IRA H. Kleinfeld, *Engineering Economy*, Van Nostrand Reinhold, 1993
32. James E. Shamblyn & G. T. Stevens, *Operations Research*, McGraw-Hill, 1974