

수리부속비 비용추정식 개발과 활용방안

Development and Application of the Spare-parts Cost Estimating Relationships

류민규* 이용복* 강성진*
Min-Kyu Ryu Yong-Bok Lee Sung-Jin Kang

Abstract

Currently, a life cycle cost estimates(LCCE) is the most important factor in weapon system acquisition process. However, operation and maintenance(O&M) cost related studies are insufficient from the previous literature survey. O&M cost consists of various cost factors such a man power, maintenance and direct & indirect support costs. We have known that spare-parts cost is a key factor in the O&M cost.

In this paper, we developed the spare-parts cost estimating relationships(CERs) of fixed-wing aircraft and armored vehicle weapon systems which include 4 historical cost drivers ; system acquisition cost, deterioration rate, localization rate, mission characteristic. Furthermore, we proposed the application methodologies that O&M cost estimating, total life cycle cost estimating and determination of the economic life using the spare-parts CERs.

Keywords : Spare-parts Cost Estimating Relationships, Operation and Maintenance Cost Estimating, Life Cycle Cost Estimating

1. 서론

최근 군의 전력증강 환경은 무기체계가 첨단화되면서 무기체계의 성능비교 이외에 전 수명주기(Total Life Cycle)에서 발생하는 비용에 대한 평가가 요구되고 있다. 이러한 변화속에 우리군은 방위사업청 개청과 함께 경제적인 무기체계 획득을 위해 비용분석 제도를 보완하여 획득비를 포함한 운영유지비를 추정하여 의사결정에 활용하고 있다.

운영유지비는 일반적으로 수명주기 비용의 60% 이

상을 차지하며, 획득비와 비교하면 훨씬 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 추정의 정확도 향상을 위한 연구가 절실히 요구되고 있다^[14]. 그러나 운영유지비 추정 결과를 실질적으로 분석하기는 쉽지 않다. 운영유지비 추정이 복잡하고 어려운 이유는 첫째, 추정의 결과를 확인하기 위해서는 무기체계 도태까지의 긴 시간이 요구된다. 둘째, 운영유지비항목의 범위와 구분이 명확하지 않다. 셋째, 운영유지비 산출은 주관적인 평가가 필요하기 때문에 추정결과에 대한 객관성을 확보하기가 쉽지 않다. 넷째, 운영유지비의 범위가 광범위하다. 운영유지비는 해당 체계에 직접 사용되는 비용 이외에 운영, 정비, 관리 및 지원 등 설정에 따라 범위가 달라질 수 있기 때문이다.

그동안 운영유지비 추정은 유사 무기체계를 통해 유

† 2010년 5월 7일 접수~2010년 7월 23일 게재승인

* 국방대학교(Korea National Defense University)

책임저자 : 이용복(miliman@naver.com)

추하거나, 비용추정 전산모델인 PRICE-HL 모델을 활용하여 T/TA-50 항공기^[2], KO-1 항공기^[13] 등의 사업을 추정한 사례가 있다. 그러나 전력화가 완료된 KO-1의 운영유지비를 분석한 결과 수리부속비 추정값이 실제와 많은 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구는 획득비, 노후화율, 국산화율, 임무 특성 등 무기체계별 특성을 고려한 수리부속비 비용 추정관계식(CER : Cost Estimating Relationship)을 이용한 새로운 관점에서 수리부속비를 추정하였다. 이를 통해 운영유지비와 수명주기비용을 추정하고, 개발된 CER을 활용한 무기체계의 경제수명을 판단하는 방법을 제시하였다.

2. 수리부속비 추정의 중요성

운영유지비는 비용항목에 대한 정의와 범위가 명확하게 설정되면, 수리부속비를 제외한 인력운영비, 탄약비, 유류비 등은 운영계획에 따라 쉽게 추정할 수 있다.

수리부속비는 무기체계를 작전가능 상태로 운영 및 유지하기 위하여 부속들을 교체하거나 수리하기 위하여 사용된 비용을 의미한다. 수리부속비 예측 항목 중 가장 핵심적인 비용 주도 요인은 부품의 수명을 의미하는 고장간 평균시간(MTBF : Mean Time Between Failure)이다. MTBF는 수리부속의 결함확률을 따르며, 제작당시와 실제 운영결과 간에 많은 차이가 발생하기 때문에 수리부속비를 추정하기 위해서는 MTBF를 정확하게 예측하는 것이 요구된다^[16]. 무기체계의 결함 확률에 의존하는 수리부속비는 추정이 어렵다. 어떤 무기체계가 언제, 어떤 결함으로 발생하여 비용이 얼마나 요구되는지를 정확하게 추정하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 따라서 수리부속비 추정의 정확성이 전체 운영유지비 추정의 정확성을 결정하는 중요한 요인이라고 할 수 있다.

3. 이론적 배경

가. 수리부속비 추정 관련 연구

수리부속비 추정방법은 3 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 수리부속의 수요를 예측하는 방법이다. 수요 예측 방법은 해당 품목의 MTBF를 분석하여 결함 시

기를 예측하는 방법과 시계열 분석을 통한 결함 수요 예측 방법이 있다. 결함 시기 예측은 신뢰성 분야에서 상당히 많은 연구가 이루어졌으며, 시계열 분석을 통한 연구는 회전익 항공기^[17], K-1전차^[5], 고정익 항공기^[7]의 수리부속 수요를 예측한 사례 등이 있다. 이러한 연구의 목적은 수리부속의 수요를 예측하는데 있기 때문에 수리부속비를 추정하기 위해서는 수요를 비용으로 전환시키는 과정이 필요하다. 따라서 수리부속비를 추정하는 것 보다는 수리부속 수요 예측에 중점을 둔 연구라 할 수 있다.

둘째, 전산모델을 이용한 수리부속비 추정방법이다. 이 방법은 PRICE-HL 모델을 사용하여 KIA1 전차의 운영유지비를 추정하여 적정 경제수명을 분석한 사례^[6]와, KO-1 항공기의 정비단계에 따른 민감도 분석을 실시하여 경제적인 정비단계를 제시한 사례^[6]가 있다. 그러나 전산모델을 이용한 수리부속비 추정은 운영유지비 전체를 추정하지만 비용항목별 자료를 제시하지 못하며, 비용항목이 미국의 방산원가 기준으로 분류되어 있어 국내 현실을 반영하기에는 한계가 있다.

셋째, 전산모델과 운영사례 및 유사장비를 통해 수리부속비 추정방법을 연구한 사례가 있다^[1,3,16]. 그러나 결과 값을 제공하지 않고, 추정 방법만을 소개하였기 때문에 활용성이 제한되는 단점이 있다.

나. CER 개요

CER은 비용추정기법 중 모수 추정법의 한 형태라고 할 수 있다. 모수 추정법은 무기체계의 과거 실적 자료를 바탕으로 해당 무기체계 집단에 속하는 새로운 무기체계의 소요 비용을 통계적인 방법을 사용하여 비용을 추정한다. 이때 비용은 무게, 속도, 기술적 난이도 등 장비의 특성을 나타내는 비용발생인자(Cost Driver)의 함수로 표현된다. 모수 추정법은 제2차 세계대전 당시 생산한 많은 항공기의 비용자료를 기반으로 1950년 RAND 연구소에서 최초로 개발되어 발전하였다^[16]. 모수 추정법의 기본 구조인 CER을 개발하여 활용하는 것의 장점은 무기체계별 다양한 운영개념을 설정하여 그 결과를 쉽게 확인할 수 있는데 있다.

CER은 비용발생인자인 독립변수들의 변화에 따라 비용인 종속변수가 어떻게 변화하고 구해지는지를 설명하는 수식이다.

CER은 회귀모형의 한 형태이면서 다수의 독립변수가 포함된 다중회귀모형이다. 독립변수가 k개인 다중회귀 모형은 독립변수 X_1, X_2, \dots, X_k 와 종속변수 Y

에 대하여 $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$ 과 같이 표현한다. β_i 는 모집단의 모수로 추정되어야 할 회귀계수를 의미한다. ϵ 은 Y를 측정할 때 발생하는 오차인 잔차로서 다변량 정규분포를 따르며, $E(\epsilon) = 0$, $Var(\epsilon) = \sigma^2$ 으로 가정된다. 다중회귀모형에서는 최소제곱법을 사용하여 ‘잔차의 제곱합이 최소’가 되는 회귀직선이 실제 값에 가장 적합한 회귀식으로 간주된다.

CER에 대한 평가는 상관계수 검정을 기본으로 다음과 같은 방법을 이용하여 통계적 유의성을 검정한다.

첫째, CER에 대한 적합도를 판단하는 기준인 결정계수(R^2)는 전체 변동 중 회귀식에 의해서 설명되는 비율이며, 추정된 수리부속비 CER에 의하여 설명되는 변동이 전체 변동에 비하여 어느 정도인가를 나타내주는 값이다. 다중회귀 모형에서 독립변수의 증가에 따라 결정계수가 높아지는 단점을 보완하기 위하여 수정결정계수(Adjusted R^2)를 병행하여 사용한다. 일반적으로 R^2 와 Adj R^2 가 0.8 이상일 때 CER이 적합하다고 할 수 있다.

둘째, CER의 타당성을 평가하는 F값은 검정통계량(F_0)보다 작고, P-value가 0에 가까울수록 타당하다고 할 수 있다.

셋째, CER의 개별회귀계수에 대한 유의성은 T-검정을 활용할 수 있다.

다. CER 개발 절차 및 활용

CER을 개발하고 활용하는 절차는 다음과 같다.

첫째, 가능한 범위 내에서 정확한 자료를 충분히 수집한다. 풍부한 자료는 CER의 신뢰성을 향상시키고 추정의 정확성을 높이는데 기여할 수 있다.

둘째, 자료가 수집되면 비용에 직접적인 영향을 미치는 주요 비용발생 요소를 식별한다. 이 과정은 해당 무기체계에 대한 전문적인 지식이 요구되기 때문에 가장 어려운 절차이다. 수집한 자료가 비용발생 요소가 아닐 경우에는 다른 자료를 수집하는 과정을 반복한다.

셋째, 수집된 자료가 비용발생 요소일 것으로 판단되면 자료를 정규화(Normalization)한다. 기준년도와 물가상승률을 적용하여 비용을 불변가로 환산하거나, 중량, 길이의 단위를 동일한 기준으로 통일하는 등의 자료 표준화는 매우 중요하다.

넷째, 표준화된 자료에 대한 통계분석을 통해 CER을 개발하고 논리적 타당성을 검증한다. 한편, CER의 타당성 제시를 위해 통계적인 검증이 도움이 되지만,

CER은 활용이 목적이기 때문에 통계적 검증 못지않게 활용성을 확보하는 것도 매우 중요하다.

다섯째, 통계적 검증과 활용성이 확인된 CER을 문서화하여 공식적으로 활용한다.

4. 수리부속비 CER 개발

가. 수리부속비 CER 모형 설정

수리부속비는 운영유지비 영역에 포함되기 때문에 물리적 특성치와 사업적 특성치 등 제작에 소요되는 요소들외에 무기체계 운영과 관련된 비용발생요소가 포함되어야 한다. 따라서 수리부속비 추정에 적합한 CER을 개발하기 위하여 해당 군으로부터 고정익 항공기(이하 항공기) 및 장갑차의 운영 자료를 수집한 뒤 다음과 같이 통합 및 조정하였다.

첫째, 개발과 양산 단계의 비용발생요소인 중량, 성능 등의 물리적 요소와 제작 난이도, 사업 관리비 등의 사업적 요소를 하나의 비용인 획득비로 통합하였다. 개발 및 양산 단계의 모든 비용은 해당 단계의 사업이 종료되면 획득비로 대표될 수 있기 때문이다. 실제 자료 분석 과정에서 비용발생요소들을 분리한 결과 각 요소들간에 높은 상관관계를 보이면서 CER의 적합성에 부정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 수집한 수리부속비 자료는 누척치가 아닌 당해 연도 자료였다. 따라서 운영기간을 총 사용수명 대비 백분율로 환산함으로써 당해 연도로 표현할 수 있는 노후화율로 변환하였다.

셋째, 임무형태에 따른 요소를 구분하였다. 예를 들어 급기동하는 전투기와 화물과 인원을 수송하는 수송기는 수리부속비의 변화가 다른 것처럼 임무에 따라 상이한 결함 발생 확률을 임무형태를 구분함으로써 반영할 수 있도록 하였다.

넷째, 국산화율을 비용발생요소로 고려하였다. 결함이 발생하여 수리를 하거나 신품으로 대체할 경우 수송비를 포함한 수리비용은 해외도입 품목이 국산 품목에 비하여 크게 증가하기 때문이다.

이외에도 운영 특성을 분석하여 운영시간 등의 다양한 요소를 고려하였으나 수리부속비에 미치는 영향이 매우 작거나, 다른 요소와 높은 상관관계를 보였기 때문에 위의 네 가지 요소로 한정하였다. 따라서 수리부속비는 획득비, 노후화율, 임무, 국산화율 등과 관계

가 있다는 가정하에 식 (1)과 같이 기본적인 수리부속비 CER을 모형화 하였다.

$$\text{수리부속비} = F(\text{획득비, 노후화율, 임무형태, 국산화율}) \quad (1)$$

수리부속비는 지수분포와 유사한 형태의 결합확률에 의존하기 때문에 모형의 적합도를 향상시키기 위하여 CER을 식 (2)와 같이 지수함수 형태로 설정하였다. 명목척도인 임무형태는 구분을 위한 지시변수(Dummy Variable)를 사용하였다.

$$y = a X_1^b X_2^c X_3^d \times \text{지시변수} \quad (2)$$

(y=수리부속비, X1=획득비, X2=노후화율, X3=국산화율, a, b, c, d=상수)

식 (2)를 선형으로 변환하면 식 (3)과 같다.

$$\ln(y) = \ln(a) + b\ln(X_1) + c\ln(X_2) + d\ln(X_3) + \text{지시변수} \quad (3)$$

나. 항공기 수리부속비 CER

항공기 수리부속비를 추정하기 위한 자료 수집 및 가공 방법은 다음과 같다.

첫째, 항공기의 임무형태는 현재 공군에서 운영중인

전투기, 정찰기, 수송기, 훈련기의 4가지로 Table 1과 같이 구분하여 자료를 수집하였다.

Table 1. 항공기 임무형태별 세부 기종

구분	전투기	정찰기	수송기	훈련기
기종	A, B, C, D, E	F, G	H, I	J, K

둘째, 획득비는 공군 군수사령부에서 발행한 군수교과서를 활용하였다. 획득단가는 한국은행의 연도별 환율자료와 통계청의 물가상승률을 적용하여 Table 2와 같이 2008년도 불변가로 환산하였다. 이때 C와 D 기종은 직구매와 국내 면허생산에 따라 획득가가 상이하기 때문에 도입대수를 기준으로 각 기종별 평균값을 적용하였다.

Table 2. 항공기 기종별 도입시기 및 획득단가

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
도입시기	70	77	74	86	05	89	01	88	94	00	92
도입단가(억원)	8	33	11~32	127~261	794	96	484	163	122	59	46
불변가(억원)	150	232	165	415	855	223	598	405	203	75	245

Table 3. 항공기 관련 자료 정규화 결과

	연도	수리부속비		획득비		노후화율		국산화율		지시변수		
		실제값(억원)	Log값	실제값(억원)	Log값	%	Log값	%	Log값	전투기	정찰기	수송기
A	2003	11	13.91	130	16.38	85	3.53	0	0	1	0	0
	2004	8.8	13.69	135	16.42	87.5	3.56	0	0	1	0	0
	2005	7.5	13.52	139	16.45	90	3.58	0	0	1	0	0
	2006	12.1	14	143	16.48	92.5	3.61	0	0	1	0	0
	2007	9.3	13.74	147	16.5	95	3.64	0	0	1	0	0
	2008	4.8	13.07	150	16.52	97.5	3.66	0	0	1	0	0
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
K	2003	5.3	13.18	144	16.48	27.5	2.4	0	0	0	0	0
	2004	6.2	13.33	149	16.52	30	2.48	0	0	0	0	0
	2005	9.3	13.75	155	16.55	32.5	2.56	0	0	0	0	0
	2006	14.3	14.17	159	16.58	35	2.64	0	0	0	0	0
	2007	7.8	13.57	162	16.6	37.5	2.71	0	0	0	0	0
	2008	10.2	13.84	167	16.63	40	2.77	0	0	0	0	0

셋째, 노후화율은 국방부에서 발행하는 ‘각 군별 주요 무기체계 도입사’를 참조하여 도입 시기를 기준으로 사용수명(40년)에 대한 비율로 변환하였다. 예를 들어 2009년 기준으로 도입한지 20년이 되었으면 노후화율은 50%(20/40년)가 된다. 단, 도입후 40년을 넘게 운영한 F 기종은 수명기간을 45년으로 설정하였다.

넷째, 국산화율은 방위사업청에서 2006년도에 발간한 ‘방산물자 국산화율’을 활용하였다.

다섯째, 수리부속비는 공군 군수사 분석평가실에서 발간한 2003~2008년까지의 ‘항공기 대당/시간당 유지비 보고’ 자료를 활용하였다.

11개 항공기에 대한 연도별 수리부속비, 획득비, 노후화율, 국산화율 자료를 정규화하고, Log 변환을 실시한 결과는 Table 3과 같다.

상관관계 분석결과 Table 4에서처럼 상관계수의 절대값이 최대 0.44로 독립변수들에 의한 수리부속비 추정이 가능하다고 할 수 있다.

Table 4. 피어슨 상관관계 분석결과

	도입 단가	노후 화율	국산 화율	전투기	정찰기	수송기
획득비	1	-0.25	-0.22	0.17	0.27	0.13
도입단가		1	-0.38	0.29	0.01	-0.03
국산화율			1	0.19	-0.29	-0.30
전투기				1	-0.42	-0.44
정찰기					1	-0.21
수송기						1

따라서 독립변수인 도입단가, 노후화율, 국산화율과 지시변수, 종속변수인 수리부속비에 대한 항공기 수리부속비 CER은 식 (4)와 같으며, 항공기 임무에 따라 각 지시변수의 계수를 적용한다.

$$\ln(y) = -7.63 + 1.13\ln(X_1) + 0.73\ln(X_2) - 0.28\ln(X_3) - \text{지시변수} \quad (4)$$

※ 지시변수: 0.86(전투기), 1.59(정찰기)
0.94(수송기), 0(훈련기)

식 (4)에 대한 분산분석 결과 Table 5와 같이 R²는 0.82, Adj R²는 0.80이며, F통계량의 P-Value가 0.001 미만이었다. 또한, 각 독립변수에 대한 t통계량의 P-Value는 상수항이 0.0032이고, 나머지는 0.0001이하로

서 개별회귀계수의 유의성은 적합하였다. 따라서 도출된 항공기 수리부속비 CER을 활용하여 항공기 분야에 대한 수리부속비 추정이 가능하다고 판단할 수 있다.

Table 5. 항공기 수리부속비 CER 분산분석

Source	DF	SS	MS	F	p
Model	6	42.98024	7.16337	44.29	<0.001
Error	58	9.38179	0.16176		
Total	64	52.36204			

R-Square=0.8208, Adj R-Sq=0.8023

다. 장갑차 수리부속비 CER

장갑차의 획득비는 합동참모본부에서 작성한 ‘합동 무기체계’ 자료를 활용하였다. 수리부속비는 육군 분석평가단의 ‘장비별 표준비용(’00~’05)’을 참조하여 장비별 표준비용으로 환산하였다. 노후화율을 산출하기 위한 도입시기는 ‘국방백서(무기체계 도입사)’를 참조하였으며, 사용수명 30년을 기준으로 노후화율을 계산하였다. 임무형태는 장갑차별 큰 차이가 없기 때문에 기종만 5개의 유형으로 분류하였으며, 국산화율 역시 기종별로 유사(83~86%)하여 국산화율은 고려하지 않았다. 정규화 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. 장갑차 관련 자료 정규화 결과

구분	시기	수리부속비		획득비		노후화율	
		실제값 (백만원)	Log 값	실제값 (백만원)	Log 값	%	Log 값
L	00	15.37	9.64	610.89	13.32	53.33	2.77
	01	12.79	9.46	624.94	13.35	56.67	2.83
	02	11.53	9.35	650.56	13.39	60	2.89
	03	12.98	9.47	668.78	13.41	63.33	2.94
	04	13.72	9.53	692.19	13.45	66.67	3
	05	13.18	9.49	717.11	13.48	70	3.04
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
P	00	10.76	9.28	756.47	13.54	40	2.48
	01	28.09	10.24	773.87	13.56	43.33	2.56
	02	38.43	10.56	805.6	13.6	46.67	2.64
	03	40.83	10.62	828.15	13.63	50	2.71
	04	35.14	10.47	857.14	13.66	53.33	2.77
	05	25.19	10.13	888	13.7	56.67	2.83

Table 6의 획득비와 노후화율에 대한 상관관계 분석 결과 0.53546으로서 독립변수로 활용이 가능하다고 할 수 있다. 따라서 독립변수인 획득비, 노후화율, 종속변수인 수리부속비에 대한 장갑차 수리부속비 CER은 식 (5)와 같다.

$$\ln(y) = -21.57 + 1.91\ln(X_1) + 1.44\ln(X_2) \quad (5)$$

식 (5)에 대한 분산분석 결과 Table 7과 같이 R²는 0.83, Adj R²는 0.82이며, F통계량의 P-Value가 0.001 미만이었다. 또한, 각 독립변수에 대한 t통계량의 P-Value는 상수항이 0.054, 획득비는 0.0281, 노후화율은 0.0001이하로서 개별회귀계수는 유의하였다. 따라서 종합적으로 분석할 때 도출된 장갑차 수리부속비 CER을 활용하여 장갑차 분야에 대한 수리부속비 추정이 가능하다고 판단할 수 있다.

Table 7. 장갑차 수리부속비 CER 검정 결과

Source	DF	SS	MS	F	p
Model	2	29.12651	14.56326	66.53	<0.001
Error	27	5.91014	0.21889		
Total	29	35.03666			
R-Square=0.8313, Adj R-Square=0.8188					

항공기 및 장갑차에 대한 수리부속비 CER 개발결과를 종합하면 획득비와 노후화율의 증가에 따라 수리부속비는 증가하지만, 국산화율이 증가할수록 수리부속비는 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 항공기의 임무형태와 수리부속비는 유의한 관계에 있다고 할 수 있다.

라. 수리부속비 CER 실증 분석

상기의 수리부속비 CER은 통계적으로 유의한 수준을 보였지만, CER의 실질적인 활용 가능성을 검증하기 위하여 실제 수리부속비와 추가적으로 비교하였다.

비교 대상은 2002년을 기준으로 11개 기종 중 전력화 이전 단계인 3개 기종을 제외한 8개 기종으로 하였다. 검증 결과 Table 8과 같이 국방비용편람의 실제 수리부속비와 CER에 의해 추정된 수리부속비와의 정확도는 평균적으로 70%(52~99%)를 보였다. 8개 기종 중 A, B, D, G, H의 5개 기종은 과소 추정된 반면, C, E, F의 3개 기종은 과다 추정되었다.

Table 8. 실제 수리부속비와 CER 추정값 비교

구분	국방비용 편람	CER에 의한 추정값	정확도
A	757,179	544,252 (-)	72%
B	757,179	748,140 (-)	99%
C	171,035	290,999 (+)	59%
D	460,633	265,804 (-)	58%
E	310,166	436,150 (+)	71%
F	519,336	818,234 (+)	63%
G	279,104	248,855 (-)	89%
H	547,011	281,929 (-)	52%

5. 수리부속비 CER 활용방안

통계적 검증과 활용성이 확보된 CER은 다양한 분야에 활용할 수 있다. 본 연구에서는 수리부속비 CER을 활용하여 운영유지비와 수명주기비용을 추정하는 방법과, 획득비와 수리부속비의 비율을 고려하여 무기체계의 적정 경제수명을 예측하는 방법을 제시한다.

가. 운영유지비 추정시 CER 활용 방법

1) 운영유지비용 항목 분류

대부분의 무기체계에서 적용되는 운영유지비의 기본 항목은 크게 인건비, 소모품비, 창정비비, 직접지원비, 간접지원비로 구분할 수 있다⁸⁾. 국방부에서는 이를 Table 9의 ‘1996~2004년 국방비용편람(운영유지비)’ 자료에서처럼 인력운영, 부대활동 지원, 교육 지원, 장비유지 및 운영, 물자관리, 시설관리 운영, 예비전력 관리, 기타 비용으로 세분화하여 관리하고 있다.

Table 9에서 각 비용 항목의 비율은 매년 거의 유사한 비율을 나타내고 있다. 따라서 장비유지 및 운영비의 추정 결과(β)로 인력운영비(a)를 추정할 수 있으며, 그 결과를 활용하여 전체 운영유지비를 추정할 수 있다. 따라서 운영유지비를 장비유지 및 운영비와 인력운영비의 두 항목과 부대관리비(δ : 교육훈련, 부대활동 지원, 물자관리, 시설관리 운영, 예비전력 관리, 기타 비용의 합)로 분류하면 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다. 이때 장비유지 및 운영비는 해당 무기체계의 장비 유지비인 수리부속비와 운영비인 유류비의 합이다⁴⁾.

Table 9. 국방비용 편람 운영유지비('96~'04)

구 분	인력 운영(α)	장비유지 및 운영(β)	교육 훈련	부대활동 지원
전투비행단 (Θ ₁)	57%	31%	3%	2%
기계화 사단(Θ ₂)	70%	21%	3%	2%
구 분	물자 관리	시설관리 운영	예비전력 관리	기타비용
전투비행단 (Θ ₁)	0.4%	3%	1%	3%
기계화 사단(Θ ₂)	1%	2%	0.3%	0.4%

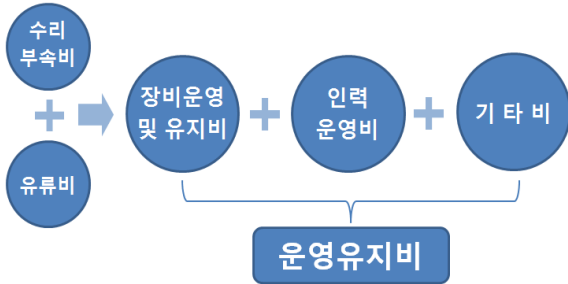


Fig. 1. 운영유지비 항목 분류 및 추정 절차

2) 운영유지비용 추정

본 연구에서는 국방비용편람의 기준을 적용하여 다음과 같은 절차에 따라 운영유지비를 추정하였다.

첫째, 수리부속비 CER에 의한 수리부속비 추정
 둘째, 해당 무기체계의 유류비 사용실적에 물가상승률을 고려하여 유류비 추정

셋째, 수리부속비와 유류비의 합으로 장비유지 및 운영비 추정

넷째, 식 (6)의 비율을 적용하여 인력운영비 추정
 다섯째, 장비유지 및 운영비와 인력운영비, 부대관리비를 합하여 해당 장비의 전체 운영유지비 추정

Table 9로부터 인력운영비(α)는 전투비행단(Θ₁)의 경우 장비유지 및 운영비(β)의 1.83배, 기계화 사단(Θ₂)의 경우 3.33배로 계산할 수 있다. 또한, 부대관리비(δ)는 전투비행단(Θ₁)의 경우 장비유지 및 운영비(β)의 0.39배로, 기계화 사단(Θ₂)의 경우 0.43배로 계산할 수 있다. 그러나 인사행정 등의 인력은 해

당 무기체계를 운영하거나 지원하지는 않기 때문에 인력운영비와 부대관리비를 분리해야 한다. 일반적으로 전투비행단은 비행전대, 군수전대 및 기지전대로 구성되는데, 항공기를 운영하고 지원하는 비행전대와 군수전대의 인원 비율이 전투비행단의 2/3 규모이므로 전체 인력운영비의 2/3이라고 할 수 있다.

따라서 전투비행단의 무기체계를 운영하고 지원하는 인력운영비는 장비유지 및 운영비의 1.22배로, 부대관리비는 0.26배로 각각 설정할 수 있다(식 (6)). 이는 미공군의 F-16, C-50의 1996~2005년까지의 비용분석그룹의 자료 분석결과 인력운영비와 장비유지 및 운영비의 평균비율이 1.17 : 1과 유사한 비율로서 도출된 수치가 적정 범위에 있다고 할 수 있다.

기계화사단 역시 장갑차를 운영하고 지원하는 인력의 비율이 약 2/3로서 인력운영비는 장비유지 및 운영비의 2.22배로 부대관리비는 0.29배로 설정할 수 있다.

$$\theta_1) \alpha : \beta : \delta = 57 : 31 : 12, \tag{6}$$

$$\alpha = 1.83(2/3) \times \beta = 1.22\beta$$

$$\delta = 0.39(2/3) \times \beta = 0.26\beta$$

$$\theta_2) \alpha : \beta : \delta = 70 : 21 : 9,$$

$$\alpha = 3.33(2/3) \times \beta = 2.22\beta$$

$$\delta = 0.43(2/3) \times \beta = 0.29\beta$$

운영유지비 자료는 다음과 같이 정규화하였다. 첫째, 무기체계의 운영시작 시점을 2008년으로 가정하였다. 둘째, 모든 비용은 2003년 이후의 평균 물가상승률 3.22%를 적용한 2008년 불변가로 환산하였다. 셋째, 사용수명은 항공기는 40년, 장갑차는 30년을 적용하였다.

항공기 각 기종별 사용수명까지의 1대당 운영유지비 추정결과는 Table 10과 같다. 전체 운영유지비 중 수리부속비 비율의 평균은 약 27%이며, 유류비, 인력운영비, 부대관리비 비율의 평균이 각각 30%, 49%, 11%로 나타났다.

장갑차의 각 장비별 사용수명까지의 1대당 운영유지비는 Table 11과 같다. 전체 운영유지비 중 수리부속비의 비율은 항공기와 유사한 28.2%이며, 유류비, 인력운영비, 부대관리비 비율의 평균이 각각 0.3%, 63.2%, 8.3%로 나타났다.

Table 10. 항공기 운영유지비 추정결과(억원)

구분	수리 부속비	유류비	인력 운영비	부대 관리비	운영 유지비
A	199	345	664	141	1,349
B	328	360	839	179	1,706
C	126	160	349	74	709
D	235	153	473	101	962
E	962	303	1,543	329	3,137
F	141	125	325	69	660
G	435	104	658	140	1,337
H	564	191	921	196	1,872
I	168	40	254	54	516
J	65	11	93	12	180
K	531	53	712	152	1,448
계 (%)	3,754 (27)	1,845 (30)	6,831 (49)	1,448 (11)	13,877 (100)

Table 11. 장갑차 운영유지비 추정결과(억원)

구분	수리 부속비	유류비	인력 운영비	부대 관리비	운영 유지비
L	11.62	0.13	26.10	3.41	41.26
M	11.46	0.12	25.71	3.36	40.65
N	9.38	0.10	21.04	2.75	33.27
O	10.65	0.11	23.87	3.12	37.75
P	17.49	0.10	39.05	5.10	61.74
계 (%)	60.60 (28.2)	0.56 (0.3)	135.77 (63.2)	17.74 (8.3)	214.67 (100)

나. 수명주기비용 추정시 CER 활용 방법

수명주기비용(LCC : Life Cycle Cost)이란 무기체계 수명주기 동안 발생하는 반복·비반복 비용을 총 망라하며, 일반적으로 연구개발비, 획득비, 운영유지비로 구성되어 있다^[20]. 비용 분포는 일반적으로 비용의 10%는 연구개발 단계에서, 30%는 획득단계에서, 60%는 운영유지 단계에서 발생한다^[15].

본 연구에서는 연구개발비, 획득비, 운영유지비에

대한 모든 자료가 수집가능한 J 항공기와 L 장갑차를 대상으로 수명주기비용을 추정하였다. 항공기는 J를 제외하면 모두 국외구매 또는 국내 조립 생산이었기 때문에 J 항공기로 한정하였고, 장갑차는 L을 기본으로 3종의 장갑차를 개조 및 변형하였기 때문에 L 장갑차로 한정하였다.

첫째, J 항공기는 1988년부터 1998년까지 약 11년 동안 개발하였으며, 1대당 연구개발비는 약 13억원으로서 2008년 불변가로 약 23억원이다. 획득비는 2008년 불변가로 약 74억원이다. 따라서 J 항공기의 40년간 수명주기비용은 연구개발비 23억원, 획득비 74억원과 Table 13의 운영유지비 180억원의 합인 277억원으로 추정할 수 있다.

J 항공기에 대한 LCC 추정결과에 대한 타당성 확보를 위해서 미회계감사국(GAO : Government Accountability Office)의 고정익 항공기의 수명주기비용 비율과 비교하였다. 비교결과 연구개발비와 획득비는 GAO 대비 상대적으로 작으며, 반대로 운영유지비가 큰 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

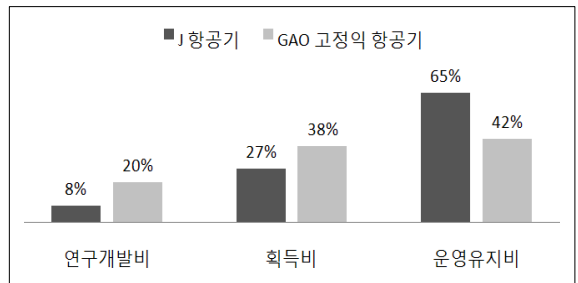


Fig. 2. J 항공기와 GAO의 LCC 비교

둘째, L 장갑차는 1979년부터 1985까지 7년간 연구 개발하였으며, 2008년 불변가 기준 1대당 연구개발비는 0.12억원, 획득비는 7.2억원이다. 따라서 L 장갑차는 Table 11의 운영유지비 38억원과 연구개발비 0.12억원, 획득비 7.2억원의 합인 45억원으로 추정할 수 있다.

L 장갑차의 수명주기비용 구조를 GAO 자료와 비교했을 때 J 항공기와 마찬가지로 연구개발비와 획득비는 상대적으로 적은 비율을 차지하지만 운영유지비가 높은 비율을 보이는 것을 알 수 있다(Fig. 3).

J 항공기와 L 장갑차의 연구개발비가 GAO에 비해 상대적으로 작은 원인은 미국은 이윤을 추구하는 업체 주도로 연구개발이 이루어지는 반면, 국내는 국방

과학연구소 주도로 이루어지기 때문에 작은 비율을 차지하는 것으로 판단할 수 있다. 운영유지비가 상대적으로 높은 것은 해당 무기체계의 경제수명을 제시한 자료가 없어서 경제수명보다 긴 사용수명을 반영했기 때문이라고 할 수 있다.

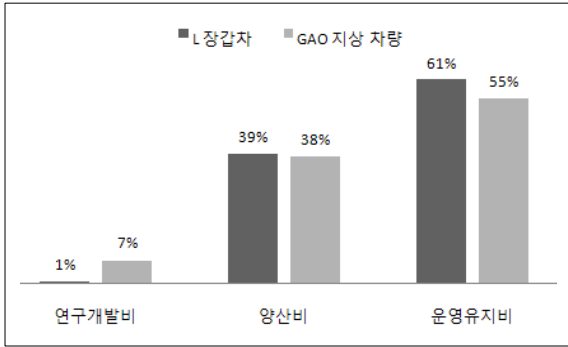


Fig. 3. L 장갑차와 GAO의 LCC 비교

다. 적정 경제수명 판단시 CER 활용 방법

1) 수명주기비용의 비율을 고려한 방법

첫째, J 항공기에 대하여 수명주기비용 비율의 일반적인 범위(연구개발비 : 획득비 : 운영유지비 = 1 : 3 : 6)에 포함되는 운영기간 20~30년 사이의 획득비와 운영유지비의 변화는 각각 -13%, +16%이다(Fig. 4). 따라서 연간 변화는 각각 -1.3%, 1.6%이며, 약 26년 시점에서는 획득비와 운영유지비의 비율이 각각 29%와 62%일 것으로 추정할 수 있어서 일반적인 비용발생 분포에 가까운 비율을 보일 것이다. 따라서 운영유지비가 획득비의 2배가 되는 시점을 경제수명으로 설정할 경우 J 항공기의 경제수명은 약 26년으로 추정할 수 있다.

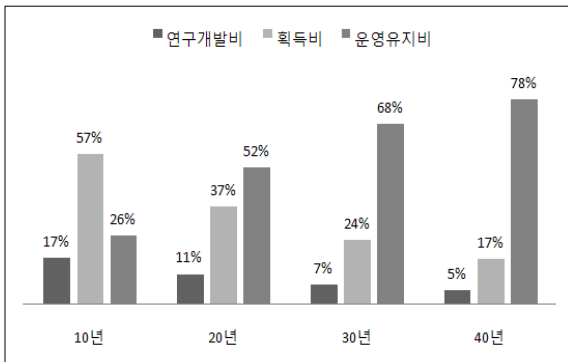


Fig. 4. J 항공기의 기간별 수명주기비용 변화

둘째, L 장갑차의 경우 Fig. 5에서처럼 운영기간이 20~30년 사이에서 도입비와 운영유지비의 비율의 변화는 각각 -22%, +22%이다. 따라서 연간 변화는 각각 -2.2% 및 2.2%이며, 약 22년의 시점에서는 획득비와 운영유지비의 비율이 각각 33%와 66%로서 일반적인 비용발생 분포에 가까운 비율을 보인다. 따라서 운영유지비가 획득비의 2배가 되는 시점을 경제수명으로 설정할 경우 L 장갑차의 경제수명은 약 22년으로 추정할 수 있다.

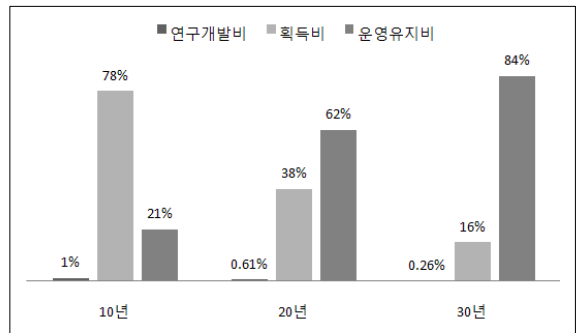


Fig. 5. L 장갑차의 기간별 수명주기비용 변화

2) 수리부속비와 획득비 비율을 고려한 방법

첫째, 항공기 수리부속비 CER을 활용하여 동일 시기에 획득 후 사용수명까지 운영하였을 때 수리부속비와 획득비의 비율이 어떻게 변화하는지 확인할 수 있다. Table 12와 Fig. 5에서처럼 항공기의 운영기간, 기종 및 임무특성에 따라 수리부속비의 변화율이 다른 것을 알 수 있다. 수리부속비는 운영기간이 증가할수록 증가하며, 기간의 경과에 따라 수리부속품의 결함수가 증가하여 비용의 증가폭은 점차 커진다. 또한, 각 기종별 임무특성이 다르기 때문에 수리부속비 증가폭이 다르게 나타난다.

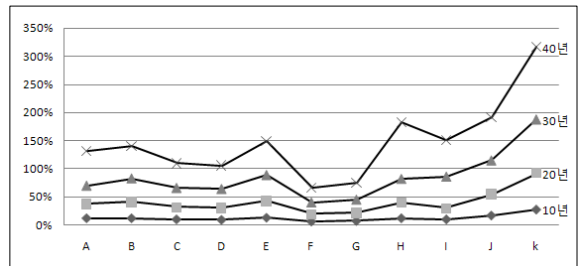


Fig. 6. 항공기 운영 기간 및 기종별 획득비 대비 수리부속 비율 변화

Table 12. 항공기 운영기간별 획득비 대비 수리부속비 비율(%)

운영 기간		10년	20년	30년	40년
전투기	A	12	38	70	132
	B	12	41	83	140
	C	10	32	66	110
	D	9	31	64	106
	E	13	43	89	149
	F	6	20	40	67
정찰기	G	7	22	45	76
	H	12	40	82	138
수송기	I	10	30	86	151
	J	17	55	115	191
훈련기	K	28	92	188	316
평균		12	40	85	143

둘째, 장갑차에 대해서 항공기와 동일한 방법으로 수리부속비 CER을 활용하여 운영기간 변화에 따른 수리부속비의 비율 변화를 확인할 수 있다. 장갑차 역시 시간의 경과에 따라 수리부속의 결함 수 증가에 따른 수리부속비 상승폭이 커지는 것을 알 수 있다. 장갑차의 경우 획득비와 운영유지비가 기종별 차이는 없지만, 수리부속비 증가율은 항공기보다 대체적으로 높은 것을 알 수 있다.

이러한 비용변화는 무기체계 도태시기를 결정할 때 필요한 경제수명 자료로 활용할 수 있다. 예를 들어 수리부속비가 획득비의 100%인 시기에 해당 무기체계를 도태시키는 기준이 있을 경우 전투기 중 A, B 기종은 30~40년 사이로, C, D 기종은 40년 직전, E 기종은 30년 이후로 판단할 수 있다. 도태시기를 경제수명으로만 판단할 수 없지만 새로운 무기체계를 도입하거나 운영유지비 자료가 없을 경우에는 도태시기를 설정할 수 있는 근거로 활용할 수 있다.

Table 13. 장갑차 운영기간별 획득비 대비 수리부속비 비율(%)

운영기간	L	M	N	O	P	평균
10년	8	8	7	8	10	8
20년	50	49	45	48	60	50
30년	162	161	146	155	197	164

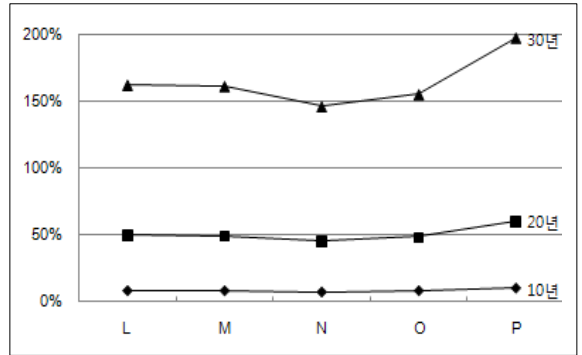


Fig. 7. 장갑차 운영 기간 및 기종별 획득비 대비 수리부속비 비율 변화

6. 결론 및 향후 연구과제

최근의 무기체계에 대한 비용추정은 개발비나 획득비 위주에서 운영유지비를 포함한 수명주기비용으로 확대되고 있다. 그러나 수명주기비용을 추정함에 있어서 세부 항목에 대한 명확한 기준이 없기 때문에 추정결과에 대한 정확도를 확신할 수 없었다. 본 연구는 운영유지비 항목 중 수리부속비를 추정하기 위하여 수리부속비 CER을 개발하고, 활용방안을 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 항공기와 장갑차 분야에 대한 수리부속비 CER을 개발함으로써 적정 CER 개발 방법론을 보였다.

둘째, 수리부속비 CER을 활용하여 운영유지비와 수명주기비용을 추정하는 방안을 제시하였다.

셋째, 실 자료를 활용하여 연구개발비, 획득비, 운영유지비의 비율을 도출하고, 운영기간에 따른 획득비 대비 수리부속비율과 수명주기비용 구조의 변화를 분석하여 경제수명을 판단하는 방안을 제시하였다.

본 연구는 무기체계의 수리부속비 CER에 관한 최초의 시도로서 의의를 갖는다. 그러나 보다 정확한 연구결과를 획득하기 위해서는 다음과 같은 제도적인 개선사항이 뒷받침 되어야할 것이다.

첫째, 운영유지비의 구성항목에 대한 명확한 정의와 분류가 있어야 한다. 본 연구에서도 개념적인 운영유지비 항목과 예산상의 항목의 차이가 커서 많은 부분에 대해 가정을 해야만 하는 한계가 있었다.

둘째, 무기체계별로 관련 자료가 많지 않으며, 분산 관리 되는 등의 한계 때문에 본 연구 결과가 항공기와 장갑차 전체를 대표하기에는 다소 무리가 있으며,

자료 수집의 노력이 상당히 요구되었다. 따라서 현재 육군의 K2 전차와 공군의 T-50 항공기 등 연구개발에 의해 획득한 무기계의 운영결과를 다양한 분야에서 수집/관리할 수 있는 체계정립이 요구된다.

Reference

- [1] 강성진, PRICE 전산모델의 한국환경 적용방안, 국방대학교, p. 137, 2001.
- [2] 강성진 외 9명, T/A-50 후속양산사업 비용분석 및 추가무장시험 사전분석, 국방대학교, 2005.
- [3] 강성진, 미래 예측가 판단중심의 비용분석 기법 개발, 국방대학교, 1999.
- [4] 국방비용편람(운영유지비), 국방부, pp. 98~99, 2004.
- [5] 김희철, “K-1 전차 수리부속품 최적 소요산정에 관한 연구”, 국방대학교, 2000.
- [6] 문대동, “PRICE 모델을 이용한 K1A1 전차의 경제 수명 결정에 관한 연구”, 국방대학교, 2001.
- [7] 박영진, “항공기 수리부속의 수요예측 기법에 관한 연구”, 국방대학교, 2007.
- [8] 박태유 외 4명, 무기체계평가분석 방법론, 한국국방연구원, pp. 54~55, 1996.
- [9] 방위사업관리규정(방위사업청 훈령 제88호), 방위사업청, 2009. 1.
- [10] 성내경, SAS/STAT-회귀분석, 자유아카데미, 1991.
- [11] 이상헌, KO-1 저속통제기 양산사업 비용분석, 국방대학교, 2003.
- [12] 이재용 외 5명, 국방연구개발비용 추정모델에 관한 연구, 국방과학연구소, EVAD-415-060761, 2005. 2.
- [13] 이준형, “국내연구개발 항공기 수명주기비용 절감방안 연구”, 국방대학교, 2003.
- [14] 이호석 외 4명, 무기체계 운영유지비용 분석 방법론 연구, 한국국방연구원, p. 25, 2002. 11.
- [15] 이호석 외 3명, 비용분석의 이론과 실제, 한국국방연구원, pp. 401~402, 2009.
- [16] 이호석 외 4명, 효과적인 비용관리방안, 한국국방연구원, pp. 65, 364. 2008. 12.
- [17] 정우익, “회전의 항공기 수리부속 수요예측에 관한 연구”, 국방대학교, 1999.
- [18] 조남훈 외 2명, 한미 공동 비용분석 방법론 연구, 한국국방연구원, 2000.
- [19] 해군전투발전단, 함정수명주기비용 산출 방법론 연구, 2006.
- [20] GAO Cost Estimating and Assessment Guide, GAO, pp. 41~43, 2009. 3.