

## True-Planning을 활용한 레이더 연구개발비 및 양산비 추정에 관한 연구

오승준, 오제천, 박지혜, 강경환\*  
육군본부 분석평가단

### A Study on the Estimation of RADAR's R&D and Production Cost Using True-Planning

Seung-Joon Oh, Jae-Cheon Oh, Jee-Hye Park, Kyung-Hwan Kang\*  
Center for Army Analysis and Simulation

**요약** 국방 분야에서 레이더는 전자기파를 방사하고 물체에서 반사되는 신호를 통해 적을 탐지, 추적, 식별할 수 있는 현대전의 필수적인 장비로, 우리 군의 경우 대포병탐지레이더, 국지방공레이더, 저고도레이더 등 다양한 레이더를 운용하고 있다. 최근에는 한국형전투기(KF-21)의 레이더, 사단급 대포병탐지레이더 등을 연구개발하고 있으며, 향후에도 추가적인 개발 및 도입이 예상된다. 무기체계 획득에 있어 비용분석이 필요한 이유는 획득대안(연구개발 또는 구매)의 수립, 적정 개발비 확보를 위한 예산반영, 개발업체와의 계약 등에 있어 의사결정의 주요 근거로 활용하기 때문이다. 본 연구에서는 비용분석 소프트웨어인 True-Planning을 활용하여 레이더의 개발비용과 양산단가를 추정하는 방법론을 제시하였다. 제시된 방법론은 True-Planning SW의 환경설정, 제품분할구조(PBS) 구축, 변수입력 등의 내용을 포함한다. 제시한 방법론을 통한 비용분석 결과는 실제 비용과의 비교를 통해 검증하였으며, 개발비용은 4.1%, 양산단가는 1.1%의 근소한 오차를 보였다. 본 연구가 향후 개발 및 도입예정인 레이더의 비용을 추정하는데 활용될 것으로 기대한다.

**Abstract** Radar is an indispensable asset for modern warfare as it enables the detection, tracking, and identification of the enemy based on reflections of electromagnetic waves. The ROK Army operates various radar systems, including anti-artillery detecting, local air defense radar, and low-altitude radar systems, and the military is developing radar systems for Korean fighters (KF-21) and division-level anti-artillery detection radars. Cost analysis is a prerequisite of weapon system acquisition because cost underlies decision-making regarding alternatives (R&D or purchase) and contracts with developers. In this study, True-Planning, a cost analysis software package, was used to estimate R&D and production costs of a radar system. The process involved establishing a True-Planning S/W environment, a Product Breakdown Structure, and input variables. Cost analysis results were verified by comparing them with actual costs, and these comparisons revealed R&D and production cost errors of only 4.1% and 1.1%, respectively. This study is expected to be used to estimate the future costs of developed and acquired radar systems.

**Keywords** : Radar, Cost Analysis, True-Planning, R&D Costs, Production Costs

---

\*Corresponding Author : Kyung-Hwan Kang(Center for Army Analysis and Simulation)  
email: optimal11@icloud.com

Received March 18, 2024

Revised April 12, 2024

Accepted June 7, 2024

Published June 30, 2024

## 1. 서론

레이더는 무선탐지와 거리측정(Radio Detecting and Ranging)의 약어로 전자파를 목표물에 발사시켜 목표물의 거리, 방향, 각도, 속도 등을 측정하는 감지 시스템이다. 레이더는 탐지, 추적, 사격통제, 항공관제, 피아식별, 기상관측 등의 역할을 수행할 수 있다[1].

레이더의 구성품 중 반도체송수신조립체(TRM: Transmit and Receive Module, 이하 TRM)는 배열의 빔 합성을 통해 기존의 진행파관증폭기(TWTA: Travelling Wave Tube Amplifier, 이하 TWTA)와 유사한 고출력을 획득 하면서 중앙집중식 송신기보다 신뢰성이 높고 기계적 빔 조향보다 기민성이 요구되는 능동위상배열레이더(AESA: Active Electronically Scanned Arrary, 이하 AESA)의 핵심부품이다[2]. TRM은 레이더의 안테나부 양산단가의 약 40%를 차지한다.

우리 군의 경우 대포병탐지레이더 II, 국지방공레이더 등 다양한 레이더를 운용하고 있다. 최근에는 한국형전투기(KF-21)의 레이더, 사단급 대포병탐지레이더 등을 연구개발하고 있으며, 향후에도 추가적인 개발 및 도입이 예상된다. 이들 레이더는 모두 과거의 TWTA 방식이 아닌 TRM 방식의 AESA 레이더이다.

국방획득사업에서는 소요 결정, 획득 대안(연구개발, 국내구매, 국외구매)의 수립, 국방중기계획 및 년도 예산 반영 등을 위해 획득단계별로 비용분석을 하며, 비용분석 결과는 각 단계의 의사결정을 위한 주요 고려요소로 작용한다. 레이더 획득사업도 마찬가지로 이와 같은 비용분석을 획득 순기에 따라 진행하게 된다.

무기체계 비용분석에 있어서 획득순기의 초기단계인 소요제기/결정 단계에서는 주로 유추추정법(Analogy method), 매개변수추정법(Parametrics method), 전문가추정법 등을 활용하여 비용추정을 하며, 설계가 구체화되고 시제가 개발되는 획득순기의 후기단계에는 비교적 정확한 공학적추정법(Engineering Estimation)을 활용한다.

True-Planning은 기존의 매개변수추정법 SW인 PRICE 모델 개발업체인 美 PRICE System사에서 HW와 SW 및 운영유지비용에 대한 동시 비용 추정기능을 강화하고, 기타 비용 추정 모형을 발전시켜 개발한 비용 분석모델이다. True-Planning은 제품분할구조(PBS: Proudct Breakdown Structure, 이하 PBS)를 바탕으로 유추추정법, 매개변수추정법, 공학적분석법, 활동기반 분석법이 결합된 내부 옵션과 True-Planning내 누적된

과거 분석자료 템플릿들을 활용한다. 유럽과 미국은 기존의 노후화된 PRICE 모델에서 True-Planning 모델로 바뀌고 있으며, 우리 군도 2015년 이후 육군, 해군, 공군에서 True- Planning 모델을 도입하였다.

본 연구의 목적은 향후 개발예정인 TRM 방식의 AESA 레이더의 정확한 비용분석을 위해서 True-Planning을 활용한 실제 비용분석 사례연구를 통해 레이더의 개발비용과 양산단가를 추정하는 방법론을 제시하는 것이다. True-Planning SW의 환경설정, PBS 구축방법, 변수 입력 방법 등의 내용을 포함하며, 특히 핵심부품이자 비용의 가장 많은 비율을 차지하는 TRM의 비용추정에 중점을 두었다.

본 연구에서 제시하는 방법론의 검증을 위해서 기존에 연구개발하여 전력화된 "A 레이더"를 사례연구 사업으로 선정하였다. 이미 정산이 완료된 "A 레이더"의 연구개발비 및 양산단가와 True-Planning을 활용한 연구개발비 및 양산단가의 비교를 통해 본 연구의 방법론을 평가할 수 있다. 향후 TRM 방식의 AESA 레이더 사업이 계속될 것이고, True-Planning을 활용한 비용분석이 지속된다면 측면에서 본 연구에서 수행하는 사례연구가 참고가 될 것으로 판단된다.

제2장에서는 관련된 문헌 연구 결과를, 제3장에서는 True-Planning을 활용한 "A 레이더"의 비용분석 결과를, 제4장에서는 검증결과, 제5장에서는 결론을 제시하였다.

## 2. 관련 문헌 연구

소요제기/결정단계에서 무기체계의 비용추정에 관련된 문헌들은 2가지 분야로 나눌 수 있다. 첫 번째는 통계적 분석 기반의 비용추정관계식(CER: Cost Estimating Relationships, 이하 CER) 도출에 관한 연구이다. 박상현 외[3]는 성능요인을 독립변수로 설정해 헬기 발사형 대전차 유도무기의 비용을 추정하는 CER을 도출하는 연구를 진행하였다. 해당 연구에서 CER만으로는 실제 무기체계 도입가격에 영향을 미치는 구매 수량, 지불조건 등의 요인을 포함하지 못한다는 한계를 지적했고 이 부분은 본 연구에서 수행한 True-Planning 연구에서는 반영이 가능하다. W. Sutopo 외[4]는 개발단계에서의 전기차의 비용추정에 관한 연구를 진행하였다. 연구진 수, 연구 기간, 연구활동 수 등 활동기반의 독립변수를 이용해 비용을 추정하였고 본 연구에서 True-Planning

에서 활동기반 변수를 입력하는 데 활용하였다. 오영민 외[5]는 무기체계 획득 비용에 대한 민감도 분석을 통해 연구개발비에 있어 환율, 투하 자본 보상율이 중점 관리 요소인 독립변수임을 제시하였고 수많은 입력변수가 있는 True-Planning에서 중요도가 높은 변수를 분류하는 척도가 되었다.

두 번째는 비용추정 소프트웨어에 관한 연구이다. 본 논문에서 사용하는 True-Panning(구 PRICE) 모델에 대한 연구를 중심으로 살펴보았다. 원준호 외[6]는 유사 장비 실적 자료를 기반으로 PRICE 모델의 주요 변수를 정확도 높게 입력하는 방안에 대해 연구하였고, 본 연구의 레이더 유사장비 기반의 변수입력에 참고하였다. 김만재 외[7]는 한국의 방산 원가 계산서를 바탕으로 PRICE 모델의 공통변수 입력 방법을 제안하였고 본 연구에서의 공통변수 입력에 활용하였다. 정태균 외[8]는 과거 실적을 기반으로 PRICE 모델의 신규비율이라는 변수를 역추적해 입력변수에 대해 보정을 하는 방법에 대해 연구하였고 본 연구에서의 변수 입력에 참고하였다. Zhou, Z. 외[9]는 개발 초기 단계에서 결정하기 어려우며 비용추정에 많은 영향을 미치는 변수인 구조제조복잡도(MCoS: Manufacturing Complexity of Structure, 이하 MCoS)를 입력하는 연구로, 도입된 전투기 자료를 바탕으로 부분최소제곱 - 구조방정식(PLS-SEM: Partial Least Squares-Structure Equation Model, 이하 PLS-SEM)을 활용해 오차율 10% 이내에서 변수를 입력하는 방안을 제시하였다. 본 연구에서는 해당방식을 활용하여 True-planning내에서 산출하기 어려운 부품(예: 운영통제장치)의 MCoS를, 유사 레이더의 운영통제장치 MCoS 데이터를 기반으로, 산출하였다.

### 3. True-Planning을 이용한 비용추정

#### 3.1 비용추정과정

True-Planning을 활용한 비용추정과정에 있어서 프로젝트의 PBS 설계, 공통변수 입력, 비용객체별 변수입력이라는 세 가지 절차가 필수적이다.

PBS는 여러 개의 비용객체(Cost Object)가 나무 구조(Tree)로 이루어져 있다. 통상 무기체계의 구성품 체계도를 바탕으로 PBS를 설계한다. PBS 설계 시 비용객체별로 성격과 특성에 맞는 유형을 선정해야 한다. True-Planning에는 총 80종류의 비용객체 유형(Cost Object Type)이 있다. 대표적으로 사용되는 비용객체

유형은 "System, Assembly, Module" 등이 있다.

"System"은 Tree 구조에서 뿌리 노드(Root node)에 해당하는 최상위의 비용객체 유형이다. 체계의 전체적인 복잡도를 바탕으로 최종 비용을 보정 해준다. 내부 노드(Internal node)에 해당하여 자식 노드(Child node)를 둘 수 있는 비용객체 유형으로는 Assembly와 Module 이 있다. "Assembly"는 하위비용객체들을 조립하는 난이도에 따른 조립비용을 계산해준다. "Module"은 인쇄 회로기판(Printed Circuit Board : PCB)과 반도체의 조립 및 설계비용을 계산하는데 특화된 비용객체 유형이다. 잎 노드(Leaf node)에 해당하는 유형으로는, 모든 하드웨어 개발품에 적용 가능한 하드웨어구성품(H/W Comp: Hardware Component, 이하 H/W Comp), PCB회로나 PCB와 반도체 부품 비용 추정에 특화된 마이크로서킷 부품(Micro Comp: Microcircuit Components, 이하 Micro Comp), 반제품의 비용을 추정하는 하드웨어 상용기성품(H/W COTs: Hardware Commercial Off-The Shelf, 이하 H/W COTs), 구매 품목(Purchased: Purchased Good, 이하 Purchased) 이 있다.

비용객체 유형을 선정하고 PBS를 설계한 뒤에는 공통 변수를 입력해야 한다. 공통변수는 물가상승률 등의 경제지표나 개발 및 양산 기간 같은 무기체계의 기본적인 정보를 입력하는 것이다. 공통변수를 입력한 후에는 비용객체별로 변수를 입력해야 한다. 선정한 비용객체에 따라 입력해야 하는 변수가 다르다. 각 구성품과 활동에 입력된 변수들이 비용객체별로 고유한 블랙박스 내의 비용 추정식과 프로젝트 환경설정 단계에서 입력한 공통변수들의 조정을 거친 후 개발, 양산 등에 해당하는 비용을 산출한다.

#### 3.2 "A 레이더" 체계

육군에서 운용 및 양산 중인 방공 레이더 체계인 "A 레이더"는 고고도 및 저고도 감시를 통해 소형 무인기, 항공기, 미사일 등을 탐지하는 역할을 한다. "A 레이더"는 AESA 레이더를 사용하는 차량 이동형 레이더로 신속한 전개와 철수가 가능하며 최신 반도체 기술을 적용한 다수의 TRM을 사용해 우수한 탐지범위와 탐지거리를 보여준다.

Fig. 1은 "A 레이더" 무기체계 구성을 나타내고 있다. 안테나부, 운영통제셀터장치, 전원발생장치, 차량부가 "A 레이더"의 체계를 구성하고 있다.

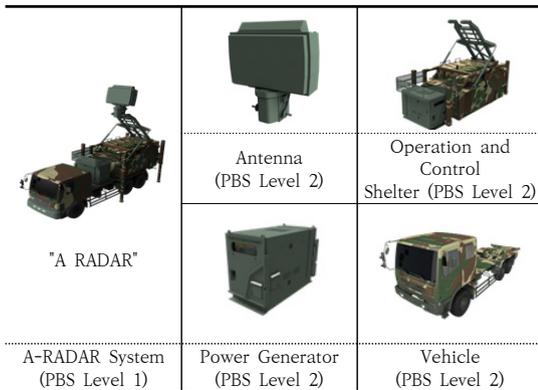


Fig. 1. System Diagram of "A RADAR" System

### 3.3 "A 레이더" PBS 설계

기존 AESA 레이더 비용분석은 설계가 진행되기전인 선행연구단계에서 수행된다. 비용분석 SW에 내장된 전용 템플릿과 유사장비의 PBS를 통상적으로 활용하여, 연구개발비와 양산비용을 추정하므로 실제 개발하는 무기 체계의 설계사항 반영이 제한된다. 이에 본 연구에서의 PBS는 AESA레이더의 필수부품을 중심으로 작성하되 "A 레이더"의 구성품 체계도를 부수적으로 참고하는 방식을 사용해 정확도를 높였다. 무엇보다도, 핵심부품인 TRM의 PBS를 송수신 기능블럭에 따라 설계하는 방식을 고안해 고출력 TRM의 성능을 반영할 수 있도록 하였다.

"A 레이더"의 구성품 체계도 상으로는 Level 8까지 총 239개의 구성품이 있었으나, 본 논문의 PBS에서는 AESA 레이더의 공통부품 및 핵심 상위 부품을 위주로 하여 총 47개의 비용객체로 구성하였다. 그 이유로는 첫째, 선행연구단계에서의 활용도를 높이기 위함이다. 선행연구단계에서 구성품 체계도를 기반으로 PBS를 작성하는 방식은 현실성이 낮기에, 선행연구단계에서 파악할 수 있는 구성품 수준에서 PBS를 작성하였다. 이러한 PBS구성은 입력변수와 TRM 구성만 변경하면 손쉽게 다른 유형의 AESA레이더(예: S밴드 AESA 레이더) 비용 추정에도 적용할 수 있다. 즉 현재 개발되는 다양한 대역의 고출력 TRM AESA레이더 추정에 용이하다. 둘째, 변수 입력의 불확실성을 줄이기 위함이다. True-Planning에서는 비용객체별 변수 값을 입력할 때, 부품의 유형별로 변수값을 추천해준다. 예를 들어 부품이 전원공급장치에 해당하면 그것에 해당하는 변수값을 추천한다. 초소형 부품까지 비용 구조에 포함 시킬 경우 해당하는 추천값이 없을 수 있다.

Table 1은 "A 레이더"의 구성품 체계도를 바탕으로

설계한 PBS의 Level 2를 나타낸 것이다. System으로 "A 레이더"를 두었고 그 아래 안테나부, 운용통제셸터부, 전원발생장치, 차량부로 비용구조가 구성된다. Assembly인 안테나부, 운용통제셸터부, 전원발생장치는 하위 비용객체들의 집합으로 각각의 비용구조가 구성되어있다. H/W COTs인 차량부는 상용기성품으로 하위 비용객체가 없다.

Table 1. "A RADAR"'s PBS by Level 2

No	Level	Name	Cost Object
1	1	"A RADAR"	System
2	2	Antenna	Assembly
3	2	Operating Control	Assembly
4	2	Power Generator	Assembly
5	2	Vehicle	H/W COTs

### 3.4 공통변수 입력

Table 2는 주요 공통변수들과 그 입력값을 보여준다. "A 레이더"는 국내 개발 레이더이므로 국가(Country)와 물가상승률(Default Escalation)은 한국에 해당하는 지표를 적용하였다. 개발기간(Development)과 양산기간(Production)은 실제 소요된 기간을 적용하였다. 일반관리비(General and Administrative), 수수료 및 이윤(Fee or Profit), 투자자본보상률(Cost of Money), 간접비용(Overhead)은 2023년 방사청 방산 제비율과 방산원가계산서를 Trueplanning에 적용하는 방법[7]을 사용해 입력하였다. 노무 시간(Labor Unit Cost)은 방사청 기준 노무량을 적용하였다. 노무비는 W. Sutopo 외[4]에서 노무 부문에 따라 변수를 세분화에 정확도를 높이는 방법을 참고하여 체계 개발업체의 2020년 부문별 평균 연봉을 입력하되, 보안상의 문제로 본 논문에서는 "00,000,000"으로 표기하였다.

Table 2. True-Planning Global Variables

Category	Value
Country	Republic of Korea
Default Escalation	Republic of Korea Escalation Table
Development	2011-07-01 ~ 2017-06-01
Production	2019-01-01 ~ 2025-12-31
Overhead	130%
General and Administrative	7.00%

Fee or Profit		10.00%
Cost of Money		1.46%
Time worked		1,920 Hours/Year
Labor Unit Cost (Won/Year)	Management	00,000,000
	Business	00,000,000
	Production	00,000,000
	R&D	00,000,000

### 3.5 비용객체별 변수입력

#### 3.5.1 "A 레이더" System

System의 주요 변수로는 시제품 수(Num of Prototypes), 양산 대수(Num of Production Units), 운용환경 (Operating Specification)이 있다. 시제품과 양산 대수는 학습률에 따른 비용 절감에 영향을 준다. 운용환경은 부품 내구도나 고장률 등에 따른 비용에 영향을 준다. Table 3에서 확인할 수 있듯이 시제품은 1대로 추정하여 입력하였고 양산 대수는 실제 군의 "A 레이더" 양산 계획에 따라 입력하되 보안을 고려하여 "00"으로 표기하였다. "A 레이더"는 차량용 레이더이므로 운용환경은 True-Planning에서 추천하는 군용 지상(Ground Military) 장비에 해당하는 변수값을 입력하였다.

Table 3. System's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
Num of Prototypes	1	
Num of Production Units	00	
Operating Specification	1.00	Ground Military

#### 3.5.2 반도체송수신조립체(TRM)

TRM은 AESA 레이더의 성능과 가격에 가장 큰 영향을 주는 핵심부품인 만큼 다른 부품보다 세밀한 추정을 할 요인이 있다. 초기 비용추정단계에서 TRM 비용은 유사장비의 가격을 바탕으로 추정하는 것이 통상적인 방법이다. 하지만 본 연구에서는 "A 레이더"용 임재환 외[10]의 TRM 송수신 기능블럭을 바탕으로 실제 사용되는 하위부품을 종합하였다. Fig. 2를 보면 "A 레이더"의 TRM의 무선주파수(Radio Frequency : RF) 회로는 2개의 저잡음증폭기(LNA, XL5017), 6개의 전력증폭기(PA, TGF2023), 2개의 구동증폭기(DA, CHA5014, CHA8100), 위상변환기(Phase Shifter : PS), 1개의 RF 증폭기(RFA, HMC451)로 구성된 것을 확인할 수 있다. 이것을 근거로 Table 4와 같이 TRM의 PBS를 구성하였다. 아

래에서는 TRM의 PBS Level 순서에 따라 각 입력변수에 대한 설명을 구성하였다.

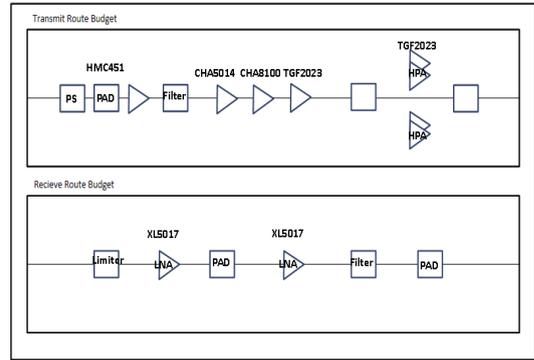


Fig. 2. The Budget of TRM(J-H. Im *et al.*[10])

Table 4. TRM's PBS

No	Level	Name	Cost Object
1	4	TRM (EA:40)	Assembly
2	5	RF Circuit	Module
3	6	LNA MMIC	Micro Comp
4	6	PA(TGF2023)	Micro Comp
5	6	DA1(CHA5014)	Purchased
6	6	DA2(CHA8100)	Purchased
7	6	Phase Shifter(PS)	Purchased
8	6	RFA(HMC451)	Purchased
9	5	Power Circuit	H/W Comp
10	5	Control Circuit	H/W Comp

##### 3.5.2.1 무선주파수(RF), 전원, 제어 회로부

TRM을 구성하는 3가지 회로 중 가장 중요도가 높은 RF회로는 모듈 비용객체 유형을 채택하였다.

Table 5. RF Circuit's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
Length(cm)	21	
Width(cm)	17.65	
Number of Layers	6	
Weight(kg)	0.9	
Board Type	5.5	Gallium Arsenide
Package Type	3.5	Pin Connector
PoND	50%	

모듈의 주요 변수로는 Table 5에서 확인할 수 있듯이 길이(Length), 너비(Width), 계층수(Num of Layers), 무게(Weight), 보드 종류(Board Type), 패키징 방식(Package Type), 신규설계비율(PoND: Percent of New Design, 이하 PoND)이 있다.

길이와 너비 무게, 패키징 방식은 실제 값을 입력하였다. 보드는 통상 군용 레이더 보드 기판으로 내열 기능이 우수한 갈륨비소(GaAs)를 사용하는 점에 착안해 해당하는 변수값을 입력하였다. 통상 True-Planning에서 제공하는 AESA 레이더 TRM의 계층 수는 10개이나, "A 레이더"의 TRM의 경우 전원회로와 제어회로가 격벽을 두고 분리된 구조이기에 6개의 계층 수로 추정 입력하였다. 통상 PCB는 30%의 신규 설계 비율이 적용되나 "A 레이더"의 TRM은 질화갈륨(이하 GaN) 소재가 사용되고 기존 TRM과 그 구조가 다르다. 이 특성에 기반해 원준호 외[6]에서 제시한 신규설계비율 기준인 50%~70%를 선정하였고 의 정태균 외[8]에서의 보정방법을 활용해 최종 50%의 설계 비율을 입력하였다. Table 6과 Table 7은 은 전원회로와 제어회로의 주요입력 변수이다.

Table 6. Power Circuit's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
WoS(kg)	0	
WoE(kg)	0.45	
MCoS		
MCoE	6.3	Power Supply
PoNS		
PoNE	30%	

Table 7. Control Circuit's main variables and input

Variable	Input	Option
WoS	0	
WoE	0.45	
MCoS		
MCoE	7.367	Transmitter
PoNS		
PoNE	30%	

RF 회로만큼 자세한 지표를 획득하기 어려워 불확실성을 줄이기 위해 통상적인 개발품을 추정할 수 있는 H/W Comp 비용객체를 사용하였다. H/W Comp의 주요 변수로는 구조 무게(WoS: Weight of Structure, 이

하 WoS), 전자 무게(WoE, Weight of Electronics, 이하 WoE), 구조제조복잡도(MCoS: Manufacturing Complexity of Structure, 이하 MCoS), 전자제조복잡도(MCoE: Manufacturing Complexity of Electronics, 이하 MCoE), 신규구조비율(PoNS: Percent of New Structure, 이하 PoNS), 신규전자비율(PoNE: Percent of New Electronics, 이하 PoNE)이 있다.

PCB의 WoS는 0kg로 설정하였다. PCB의 무게는 그 구조가 특별하지 않다면 WoE로만 이루어진다. WoS가 0kg이므로 구조 관련 변수 입력은 필요하지 않다. WoE는 실제값 0.45kg을 입력하였고 MCoE는 각각 전원회로와 제어회로에 해당하는 True-Planning 추천값인 6.3과 7.367을 입력하였다.

### 3.5.2.2 RF회로부 하위부품(Micro Comp)

회로에 사용되는 부품의 비용을 추정할 수 있는 Micro Comp의 주요 변수로는 부품 유형(Comp Type), 부품 패키징 방식(Comp Type), 핀 개수(Num of Pins), 게이트 개수(Num of Gates)가 있다.

Table 8. PA(TGF2023)'s Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
Quantity	6	
Comp Type	4	Transistor
Comp Packaging	3	Discrete
Num of Pins	14	
Num of gates	1	

Table 8은 실제 "A 레이더"용 TRM의 RF 회로에 사용되는 TGF2023이라는 GaN Discrete Transistor의 입력변수들이다.

Table 9. LNA's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
Quantity	2	
Comp Type	8	MMIC
Comp Packaging	1.5	Pin Connector
Num of Pins	5	
Num of gates	8	

하나의 TRM에 6개가 사용되며, Datasheet을 참고해 핀 개수 14개, Gate 개수 1개를 입력하였고 Discrete

Transistor에 해당하는 부품유형, 부품패키징 방식 추천 값 4와 3을 각각 입력하였다. LNA MMIC는 PA(TGF2023)과 같은 논리로 Table 9과 같이 입력하였다.

### 3.5.2.3 RF회로부 하위부품(Purchased)

실제 매입가격을 알 수 있는 하위부품에 대해서는 매입 가격만을 주요 변수로 하는 Purchased 비용객체를 사용하였고 실제 가격정보를 Table 10과 같이 입력하였다.

Table 10. Unit Cost of RF Circuit's Purchased Good

Name	Unit cost(Won)
DA1(CHA5014)	83,200
DA2(CHA8100)	60,000
Phase Shifter	525,000
RFA(HMC451)	410,000

위상변환기는 "A 레이더"에 사용한 제품명을 알 수 없었으나 X밴드 6비트 위상 변환기가 사용되는 사실은 알 수 있었다. 따라서 이에 해당하는 유사장비인 CHP3015-99F의 가격정보 525,000원을 대신 입력하였다.

## 3.5.3 TRM 외 주요 하드웨어 개발품

### 3.5.3.1 송신조립체 및 수신조립체

송신조립체와 수신조립체의 무게의 경우 WoE는 하위부품 중 회로무게의 합인 17.8kg과 16.5kg을 각각 입력하였고 그 외의 무게를 WoS로 입력한 것으로 Table 11과 Table 12에서 확인할 수 있다. MCoS는 국지방공레이더가 9.6GHz 성능의 AESA레이더인 점을 참고하여 옵션에서 제공하는 10GHz 위상배열레이더 MCoS 값인 7.61을 입력하였다. 송신조립체의 MCoE는 군용 송신기에 해당하는 값인 6.71을 입력하였다. 수신기의 경우 True-Planning에서 제공하는 전자 기능 별 무게 비율을 입력하면 복잡도값을 계산할 수 있는 Electronic Function Calculator를 활용하였다. 수신기의 하위부품 회로를 기능별로 확인한 후 무게 비율로 계산한 결과값인 Receiver 70%, Signal Processor 30%를 입력하였다. 이에 따른 MCoE 산출값 6.18을 최종적으로 입력하였다. 신규 구조설계 비율과 신규 전자설계 비율 모두 군용 개발품으로 통상 적용되는 30%의 값을 입력하였다.

Table 11. Transmitter Assembly's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
WoS(kg)	11.8	
WoE(kg)	17.8	
MCoS	7.61	Phased array(10GHz)
MCoE	6.71	Transmitter
PoNS	30%	
PoNE	30%	

Table 12. Receiver Assembly's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
WoS(kg)	19.33	
WoE(kg)	16.5	
MCoS	7.61	Phased array (10GHz)
MCoE	6.18	Calculator
PoNS	30%	
PoNE	30%	

### 3.5.3.2 차량부(H/W COTs)

"A 레이더"의 차량부는 체계 개발업체가 아닌 외부업체에서 제작한 반제품이다. 따라서, 반제품의 비용을 추정할 수 있는 H/W COTs 비용객체 유형을 적용하였다. H/W COTs는 주요 변수로 구매한 가격(Unit Cost)과 구조변형비율(PoSM: Percent of Structure Modified, 이하 PoSM), 전자변형비율(PoEM: Percent of Electronic Modified, 이하 PoEM)을 입력하는 것이 특징이다. Table 14는 H/W COTs인 차량부의 주요 변수와 입력 값이다.

Table 13. Vehicle's Main Variables and Inputs

Variable	Input	Option
WoS(kg)	13,880	
WoE(kg)	120	
PoSM	10%	
PoEM	0%	
Unit Cost(Won)	512,796,157	

차량부는 WoE를 확인할 수 없어 유사장비인 미 육군 Stryker IAV 장갑차(14,941kg)의 WoE(128kg)를 확인한 후 같은 비율만큼 무게를 입력하였다. PoSM은 레이더를 장착하는 접합부 수준에서의 변형만 이루어졌으므로

로 10%의 PoSM을 적용하였다. 구매비용은 실제 구매 가격을 입력하였다.

#### 4. 검증결과

Table 14에서 확인할 수 있듯이, "A 레이더" 체계의 True-Planning을 활용한 연구개발 추정비용은 약 274.1억 원이고, 실제 개발비용은 263.3억 원이다. 추정된 양산단가는 약 67.9억 원, 실제 양산단가는 약 68.7억 원으로 각각 4.1%, 1.1%의 근소한 오차를 보였다. TRM과 송신로직체의 양산단가는 각각 4.1%와 5.2%의 오차율에서 추정하였으나 수신로직체는 18.51%의 다소 높은 오차율을 보여주었다.

Table 14. Cost analysis result of "A RADAR"

Category	Estimation cost(Won)	Real Cost(Won)	Error rate
R&D Cost	27,413,936,490	26,330,000,000	4.1%
Production Cost	6,791,381,213	6,867,399,701	1.1%
TRM	19,722,375	18,945,000	4.1%
Transmitter Assembly	170,909,010	162,507,529	5.2%
Receiver Assembly	780,938,532	658,964,383	18.51%

정태균 외[8] 이 실시한 선행연구에서 PRICE(현 True-planning)를 이용한 추정값과 실제 계약금액의 오차는 평균적으로 약 9.86% 발생하였다. 이에 비해, 본 연구는 선행연구사례와 비교 시, 실제값에 보다 근접한 결과값이 도출됨을 확인하였다. 한편, TRM은 하나의 "A 레이더" 체계에 40개가 들어가기에 양산비 비중과 개발비 비중이 가장 높은 부품이다. TRM의 비용을 낮은 오차율에서 추정한 것이 체계 전체의 정확한 비용추정에 기여하였다. TRM의 경우 다른 부품에 비해 오차율이 가장 작은 것을 확인할 수 있다. TRM을 추정하는데 활용한 Cost Object인 Microcircuit의 경우 변수가 주로 Transistor, pin 개수, 패키징 방식 등 객관적인 요소로 구성되어있고, 하위부품의 정확한 설계와 가격정보를 확인할 수 있어 불확실성이 적다.

오차율의 원인으로는 첫째, 변수입력의 임의성에 있다. 무기체계에 사용되는 모든 부품의 소재나 정보를 알 수 없기 때문에 일정 부품은 통상 사용되는 소재나 규격을 바탕으로 분석가의 판단에 따라 입력하게 된다. 또한,

주요 변수 중 하나인 신규비율(설계, 구조, 전자)의 경우 부품에서 새롭게 설계 및 개발해야 하는 비율을 의미하는데 비율에 대한 정확한 자료를 확보하는 데 한계가 있었다. 제품의 결합 난이도와 같은 변수 또한 난이도의 어려움, 중간, 쉬움과 같이 되어있어 임의성의 요소라고 할 수 있다. 둘째, 실제 양산계약에 적용된 공통변수값 및 구매단가와와의 오차이다. Purchased와 H/W COTs의 변수인 구매단가와 임플은 각 2020년, 2023년 값을 기준으로 물가상승률을 적용한 것에서 실제값과의 오차가 발생한다.

True-Planning에서 송신기의 제조복잡도 값은 제공해주나 수신기와 처리통제장치의 제조복잡도 값은 제공해주지 않는다. True-Planning에 내장된 계산을 활용하여 하위부품을 바탕으로 복잡도를 계산하였으나, 모든 하위부품의 정보를 알 수 없어 누락정보가 있고, 그것에서 불확실성이 기인했을 것으로 예상된다.

이러한 오차 문제를 최소화하기 위한 방안에는 두 가지가 있다. 먼저 원준호 외[6]가 사용한 방법처럼 레이더 장비들의 결합 난이도나 신규설계비율에 대해 전문가 집단에게 설문조사를 하여 분류하는 방안이 있다. 둘째, AESA 레이더 유사장비의 변수입력값과 실제비용에 대해 회귀분석 및 PLS-SEM 모델링을 하는 방안이 있다. 오차 관리에 효과적이거나 충분한 데이터가 필요하다는 한계가 있다.

#### 5. 결론

우리 군이 운용 중이거나 향후 획득예정인 대부분의 레이더는 TRM 방식의 AESA 레이더이다. 이들 레이더에 대한 정확한 비용분석은 소요결정, 획득대안의 수립, 예산편성 등 주요 의사결정과정에서 필수적인 사항이다. 아울러 각 획득 단계의 비용분석간 True-Planning 활용은 지속될 것이며, True-Planning을 활용한 비용분석 결과의 정확성 여부에 관한 논쟁과 연구가 계속될 것으로 보인다.

이런 측면에서 본 연구는 True-Planning을 활용한 비용분석 방법론을 제안하였다. True-Planning S/W의 환경설정, PBS 구축방안, 입력변수 설정 등의 연구결과를 제시하였으며, "A 레이더"를 대상으로 한 사례연구결과 연구개발비는 4.1%, 양산단가는 1.1%의 근소한 오차를 보였다. 본 연구는 향후 TRM 방식의 AESA 레이더의 비용을 추정하는 데에 도움이 될 것이다.

본 연구의 제한사항으로는 운용 중인 다른 AESA레이더 체계에 대한 데이터 확보의 한계가 있었다는 것이다. 이로 인해 CER를 도출해 본 연구의 모델과 비교하거나 다른 AESA레이더 체계의 정보를 본 연구의 모델에 적용해 보는 절차가 수행되지 못했다.

향후 연구 방향은 첫째, 레이더 체계 비용분석에 대한 신뢰성을 높이기 위해 본 연구에서 오차율이 높았던 레이더의 수신조립체와 레이더 체계에 사용된 소프트웨어에 대한 비용분석 연구를 진행할 것이다. 둘째, 변수입력의 타당성을 위해 신규 개발비율이나 제조난이도 등 입력력의 주관이 개입되는 변수들에 대한 표준화 연구를 수행할 것이다. 셋째, 본 논문의 PBS를 활용하여 "A 레이더"를 제외한 다른 AESA 레이더를 추정해 적용성 및 범용성 평가를 수행할 예정이다.

## References

- [1] Y-G. Park, S-H. Park, J-B. Park, "Introduction of Domestic and Foreign Development Status of Artillery Detection Radar and Presentation of Future development Direction of Artillery Detection Radar", *Defense & Technology*, no. 507, pp.76-85, 2021.
- [2] J. S. Kim, H-G. Son., "A Study on Methods to Improve the Reliability of the Search Radar Semiconductor Transceiver Assembly", *Journal of the Korea Academic Industrial Cooperation Society*, Vol23, No.7, pp.457-465, 2022.
- [3] S-H. Park, E-B. Kang, J-H. Jeon, "A study on the Estimation of the Proper Price of Weapon System by Performance Factors: Focused on Heli-Launched Anti-Tank Guided Missiles", *Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol24, No.1, pp.133-143, 2021.
- [4] W. Sutopo, R. Ardiansyah, M. Nizam, "An Application of Parametric Cost Estimation to Predict Cost of Electric Vehicle Prototype", 2013 Joint International & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology, Bandung, Indonesia pp.1-4, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1109/rICT-ICeVT.2013.6741510>
- [5] Y-M. Oh, O-S. Kwon, "A study on Acquisition Cost of Weapon System by Sensitivity Analysis", *The Journal of Military Operations Research Society of Korea*, Vol36, No.2, pp.107-124, 2010.
- [6] J-H. Won, B-Y. Han, S-H. Kim, "A Study on Effective Model for Estimation of Acquisition Costs Based on Analogy Method", *Journal of the Korean Association of Defense Industry Studies*, Vol 18, No.2, pp.262-281, 2011.
- [7] M-J. Kim, S-C. Choi, "A study on the Application of PRICE Model in the Environment of Korean Defense Industry", *The Journal of Military Operations Research Society of Korea*, Vol28, No.1, pp.67-82, 2011.
- [8] T-G. Jung, Y-B. Lee, "A study on Calibration of Price Model Using Historical Cost Data", *The Journal of Military Operations Research Society of Korea*, Vol36, No.1, pp.29-38, 2010.
- [9] Zhou, Z. , Guo, J. , Zhou, Y., Shen, A., "Application of PLS-SEM in Core Parameter of Armament Cost Estimation", *Hangkong Xuebao/Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, Vol39, No.3, 221705, 2018.
- [10] J-H. Im, H-S. Jin, S-H. Yu, J-S. Park, T-H. Kim, D-H. Im, "Design and Fabrication of X-Band GaN TRM for a Radar", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.25, No.2, pp.172-182, 2014. DOI: <http://doi.org/10.5515/KJKIEES.2014.25.2.172>

오 승 준(Seung-Joon Oh)

[준회원]



- 2020년 2월 ~ 현재 : 연세대학교 경제학과
- 2022년 9월 : 육군본부 분석평가단 비용분석과 회계원가비용관

<관심분야>

비용분석, 계량경제학, 반도체

오 제 천(Jae-Cheon Oh)

[정회원]



- 2000년 3월 : 인하대학교 건축공학 학사
- 2009년 12월 : 미국 해군대학원 운영분석 석사
- 2022년 8월 : KAIST 지식재산대학원 석사원

- 2013년 2월 ~ 현재 : 육군본부 분석평가단 비용 및 전력 분석, 전투지휘훈련단 모의논리 담당

<관심분야>

과학기술 동향, IP R&D, 비용추정, 지식재산, 분석평가, 소  
요기획 등

박 지 혜(Jee-Hye Park)

[정회원]



- 2018년 8월 : 고려대학교 영어번역학 석사
- 2002년 2월 : 한국대학교 한국대학원 한국학과 (한국학박사)
- 2002년 2월 ~ 2021년 10월 : 공군 군수물자 사업관리 담당
- 2023년 3월 ~ 현재 : 육군본부 분석평가단

<관심분야>

무기체계사업관리, 소요기획, 운영분석, 분석평가

---

강 경 환(Kyung-Hwan Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 연세대학교 산업공학과 (산업공학 석사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 산업공학과 (산업공학 박사)
- 2003년 3월 ~ 2006년 2월 : 한국연구소 책임연구원

- 2007년 3월 ~ 현재 : 방위사업청 사업관리 담당/팀장, 육군본부 전력단, 분석평가단 과장

<관심분야>

무기체계사업관리, 운영분석, 분석평가, 최적화