

# 적외선 검출기 개발가능성 및 대안 분석 연구

## A Study on Feasibility Analysis and Alternatives for Infrared Detector Development

민성기(Sung Ki Min, ISE)\*, 김철환(Chul Whan Kim, 국방대)\*\*, 김경수(Kyoung Su Kim, 국방대)\*\*\*

### ABSTRACT

This paper deals with the feasibility analysis and alternatives for infrared detector development. The purpose of this paper analyze development requirement and feasibility study in both technology and cost. We get raw input data for system engineering process from development and technical expert, and then analyze cost and technology for development feasibility, and alternative study. Infrared Detector is core component of Thermal Imaging System and developed by ADD from 2006 to 2008 year. Technical level is analyzed by TRL(Technical Readiness Level) and AOA(Analysis of Alternative) is done by development and production cost estimate. We use SEER-H tool for cost estimate, that is parametric cost estimate tool based on Knowledge Base. Also this paper presents risk analysis for project management because it is necessary to risk driver management during the infrared detector development.

The result of IR Detector feasibility and alternative study will be used in technical and cost analysis. This study can help those who are related to the cost analysis and development feasibility of other weapons

**Key Words** Feasibility Analysis, Technical Analysis, Technical Readiness Level, Cost Estimate, Risk Analysis

### 1. 서 론

적외선 검출기는 열영상장비의 핵심부품으로서 전차 조준경, H-FLIR, UAV, 야간 관측장비, 유도탄 조준경 등 많은 무기체계에 적용 및 운용되고 있으나, 우리나라는 관련기술이 확보되지 않아 전량 해외에서 구입하고 있는 실정이다. 이에 따라 적외선 검출기가 탑재된 장비의 정비를 해외 업체를 통해 수행하고 있으며, 이는 정비비용 상승으로 경제적 부담이 가중될 뿐 아니라 외국으로부터 정비에 필요한 부품을 확보하는데 있어서도 어려움이 가중되고 있다.

한편 현재 및 미래의 전장환경에서의 야간 감시/관측 장비의 중요성은 날로 증가하고 있고, 적외선 검출기 정비소요비용 과다로 인한 경제적 부담 가중 등은 적외선 검출기 기술의 국내 연구개발 필요성을 그 어느 때보다 고조시키고 있다. 이에 따라 국방과학연구소는 '06~'08년에 320×240 배열의 냉각 비주사식 적외선 검출기 개발계획을 추진하고 있는바, 이에 대한 개발가능성 분석을 실시하였다.

따라서 본 연구는 적외선 검출기에 대한 특성을 분석하고, 기술준비레벨(TRL)을 통한 기술적 측면에서의 개발가능성과, SEER-H모델을 이용한 비용추정을 통해 비용 측면에서의 개발 가능성 분석 및 획득시 경제성 분석을 수행하였다.

### 2. 적외선 검출기 개요

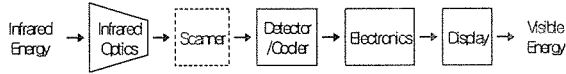
#### 2.1 적외선 검출기 정의 및 구조

절대온도 0K 이상의 모든 물체가 온도에 대응되는 파장과 세기의 적외선을 방사하는 성질을 이용하여 물체가 발하는 복사에너지를 모아 눈으로 볼 수 있는 가시광선으로 변환시켜 관측하는 장비를 열영상장비(thermal imaging system)라고 한다. 열영상장비는 가시광선의 유·무나 반사되는 빛의 세기 차이로 관측하는 기존의 영상장비와는 달리 물체가 방출하는 고유의 복사에너지를 영상화하므로 빛이 전혀 없는 야간이나 불량한 기상조건에서도 관측이 가능하다.[7]

상온의 통상적인 물체가 10 $\mu$ m 파장대에서 가장 큰 복사에너지를 방출한다는 특성과 8~14 $\mu$ m 파장대가 대기투과 특성이 우수하다는 점을 이용하여 주로 8~14 $\mu$ m 파장대역의 원적외선 복사에너지를 집속, 검출 및 전기적 신호처리를 통해 다시 가시광선으로 재현시킨다. 따라서 원적외선(8~14 $\mu$ m) 영역 검출 센서를 이용한 군사용 열영상장비가 먼저 개발되고 이어 중적외선(3~6 $\mu$ m) 영역을 이용하는 장비가 개발 및 활용되고 있다.[8]

열영상장비는 시야(FOV: Field Of View) 내의 표적과 발산하는 적외선 영역의 에너지를 검출기 표면상에 모아주는 적외선 광학계(Infrared optics), 일정 시야 내의 에너지를 순차적으로 적외선 검출기 면에 조사시키는 수평 및 수직 주사장치(Scanner), 입사된 적외선 에너지를 감지해 전기적 신호로 변환시켜 주는 검출기(Detector), 검출기로부터 얻은 전기적 신호를 최적 조건으로 증폭, 조정해 이를 다시 순차적으로 모니터 등의

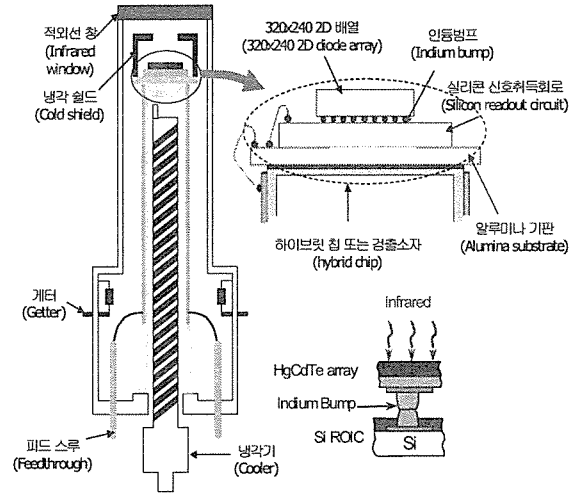
재현장치에 공급하는 신호처리기(Electronic Processor), 전기신호를 가시광선으로 바꿔 관측이 가능케 하는 열상재현장치(Display) 등으로 구성된다.[7]



<그림 1> 열영상장비 구성도

열영상장비 구성품 가운데 광학계를 통해 입사되는 물체의 적외선을 감지하는 핵심장치로 물체의 적외선 에너지 차이를 전기적 신호로 바꾸는 역할을 하는 것이 적외선 검출기(Infrared detector)다.

적외선 검출기는 <그림 2>와 같이 적외선 창, 냉각 실드, 게터, 냉각기, 하이브리드 칩 등으로 구성된다. 적외선 창(Infrared window)을 통해 흡수된 적외선 파장은 하이브리드 칩(Hybrid chip)을 거쳐 전기신호로 변환되며, 하이브리드 칩은 실리콘 신호취득회로, 인듐뿔프, 알루미늄 기판, 검출소자 등으로 구성된다. 이때, 검출기 영상의 선명도는 검출기내 진공도와 냉각성능에 따라 달라지며, 게터(Getter)는 검출기내 진공도를 유지하고, 냉각기는 검출기내의 온도를 낮춰 열잡음을 제거함으로써 영상의 선명도를 높인다.



<그림 2> 적외선 검출기 모형도

## 2.2 적외선 검출기의 분류 및 발전추세

적외선 검출기는 냉각장치(Cooler)와 주사장치(Scanner)의 유·무에 따라 분류하면 냉각 주사방식, 냉각 비주사방식, 비냉각 방식이 있으며 그 특징과 용도는 <표 1>과 같다.

적외선 검출기를 포함하는 열영상장비는 <표 2>에서와 같이 통상 직병렬주사 방식까지를 1세대, 초점면 배열 열상 방식을 2세대, 완전한 2차원 배열을 갖는 비주사 방식을 3세대로 분류하며,[7] 1970년대 중반 이후 본격적으로 군사용의 야간 관측이나 사격통제장비의 센서로 사용되어 현재 정찰위성, UAV 등의 첩보수집 및 감시장비, 전차/TOD 등과 같은 지상군 전투장비, 헬기/전투기 등의 공중 전투장비, 미스트랄 등의 열추적

<표 1> 냉각장치와 주사장치의 유·무에 따른 특징과 용도

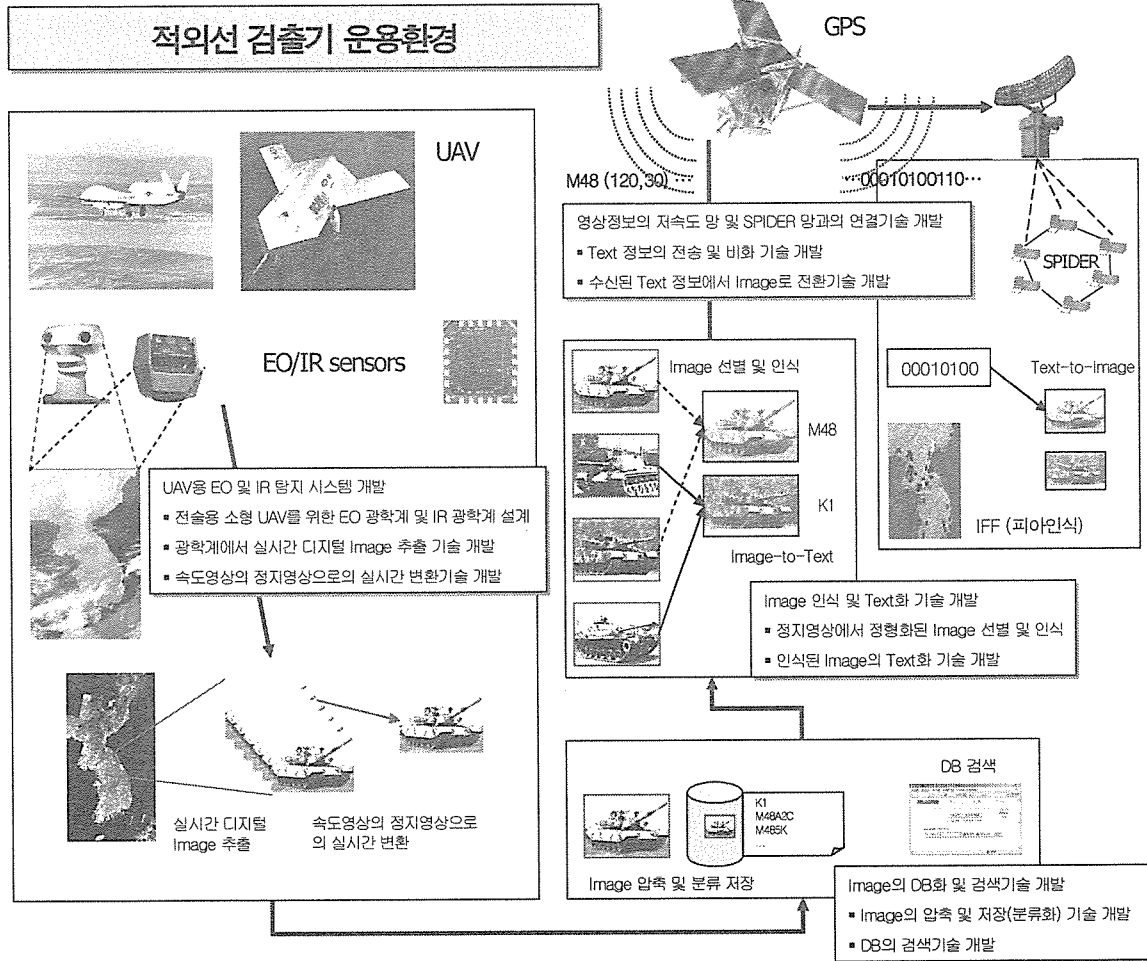
구분	냉각장치 유		냉각장치 무
	주사방식	비주사 방식	비주사 방식
배열	120× 1 ~ 480× 6	320× 240 ~ 640× 480	320× 240
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>비주사 방식에 비해 상대적으로 크기가 크고 무겁다</li> <li>원적외선 영역(8~13<math>\mu</math>m)을 주로 활용</li> <li>비주사 방식에 비해 상대적으로 넓은 정면과 긴 사거리 관측이 가능</li> <li>비냉각 방식에 비해 상대적으로 고가</li> <li>냉각장치 운용을 위한 준비시간 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주사 방식에 비해 상대적으로 크기가 작고 가볍다</li> <li>중적외선 영역(3~5<math>\mu</math>m)을 주로 활용</li> <li>주사 방식에 비해 상대적으로 관측하는 정면이 좁고 사거리가 짧다.</li> <li>비냉각 방식 비교 상대적으로 고가</li> <li>냉각장치 운용을 위한 준비시간 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>냉각방식에 비해 크기가 작고 가볍다.</li> <li>냉각 방식에 비해 상대적으로 영상의 선명도가 흐리다.</li> <li>가격이 저렴하다.</li> <li>영상 획득시간이 상대적으로 빠르다. (냉각소요 시간 불필요)</li> </ul>
용도	<ul style="list-style-type: none"> <li>지상무기 탑재용(전차 등)</li> <li>TOD 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공중용(HFLIR, EOTS 등)</li> <li>대공용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>휴대용(소총 등)</li> <li>민수용</li> </ul>

미사일 등 표적의 탐지, 감시/추적, 타격 등에 필요한 거의 모든 첨단 장비에 모두 적용되고 있다. 민간분야에서는 건물의 열 손실 탐지, 탱크 내부의 저장량 측정, 선로 결함 확인, 침입자 탐지, 인쇄회로 기판의 검사와 분석, 위성에 의한 기상관측, 화재진압 및 인명구조, 의료기기 등 산업, 의료, 전기전자, 방범, 관공서 등 광범위하게 이용되고 있다.

적외선 검출기는 구조상 완전한 2차원 배열은 아니지만 수천 개 수준(240× 2~4, 480× 4~6 등)으로 증가돼 수직방향으로 배열된 소자를 수평방향으로 주사해 완전한 2차원 열영상을 얻는 초점면 배열(focal plane array)의 주사 방식과, 별도 주사장치 없이 수만 ~ 수십만 검출소자로 한꺼번에 완전한 2차원 열영상(240× 320, 480× 640 등)을 획득할 수 있는 비주사 방식으로 발전하고 있다.

<표 2> 열영상장비의 세대별 구분

구분	1세대	2세대	3세대
시스템	Common Module Systems	Focal Plane Array(FPA) Systems	Smart FPA Systems
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광전도성 검출기</li> <li>• 검출소자당 한 개의 출력</li> <li>• 아날로그 균등화</li> <li>• 아날로그 비디오체인</li> <li>• 단소자, 120× 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광기전성 검출기</li> <li>• Dewar의 출력라인 최소화 (초점면상 Multiplexing)</li> <li>• 디지털 균등화</li> <li>• 디지털 비디오 체인</li> <li>• 다양한 검출기 형식               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 240× 1~ 4, 480× 4~6, 640× 80</li> </ul> </li> <li>• LWIR/MWIR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초점면상 신호처리               <ul style="list-style-type: none"> <li>- A/D Converter</li> <li>- 검출기 균등화</li> <li>- 망막과 유사기능</li> </ul> </li> <li>• 이중과장 검출기</li> <li>• 320× 240, 640× 480</li> <li>• MWIR</li> </ul>
종류	• AN/AAQ-9, TICM-1 등	• 전차 조준경(KCPS/KGPS) TOD 등	• FLIR, EOTS 등



<그림 3> 적외선 검출기 운용환경 개념도

### 2.3 적외선 검출기 운용환경

적외선 검출기는 전차 조준경, 야간 관측장비(TOD, FO용 관측장비 등), 개인/공용화기 조준경, 대공 유도무기, UAV/헬기 및 전투기의 FLIR, EO/IR 센서, 정찰위성, 함정 등 다양한 분야에서 그 활용도가 증가하고 있으며, 야간 전투 장비를 포함한 첨단 무기체계의 필수 장비로 장착되어 운용되고 있다. 적외선 검출기의 다양한 운용환경을 나타낸 <그림 3>은 현대 및 장차전에서 그 중요성과 가치를 잘 나타내고 있다.

<표 3> ADD 기술준비레벨(TRL)

TRL	기술수준
1 단계	기본원리 이해 단계
2 단계	기술개념 형성 및 응용분야 식별 단계
3 단계	주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념 입증 단계
4 단계	실험실 환경에서 구성품 또는 Breadboard 수준의 성능 입증 단계
5 단계	유사 운용환경에서 구성품 및 Breadboard 수준의 성능 입증 단계
6 단계	유사 운용환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품의 성능 시험 단계
7 단계	운용환경에서 체계시제품의 성능시험단계
8 단계	체계완성 및 기술시험단계
9 단계	체계운용시험 단계

<표 4> 관련 주요 핵심 기술 보유 현황 및 획득 목표

핵심 소요기술	현 기술수준	기술획득 목표
배열설계/제작	피치 80 $\mu$ m 선형배열	피치 20 $\mu$ m 정도의 고밀도 2차원 배열
신호취득회로 (ROIC)설계/제작	선형 배열 ROIC	다양하고 독자적인 ROIC 설계 능력 확보
하이브리트 칩 (HC)	선형배열 수준	3200 $\times$ 240급의 HC 제작기술
저온용기	제작기술 확보중	저온용기 기술 확보
냉각기(Cooler)	민·군협력 개발중	냉각기 기술 확보
모델링&시뮬레이션	개별다이오드 전류모델 가능 필셀 수준	배열동작/사용자 환경의 모델링, 사용자 시뮬레이션

### 3. 기술측면에서의 개발가능성 분석

#### 3.1 기술준비레벨(TRL)을 통한 기술수준 분석

##### 3.1.1 기술준비레벨(TRL) 정의

‘기술준비레벨(Technology Readiness Level) 9단계’는 기술수준분석 기법으로 NASA에서 시작하여 현재는 미국 국방성(DoD)에서도 적용하고 있다. 이는 관련 핵심 기술이 적절하게 발전되어 있는지 여부를 판단하는 기법으로써 현 기술수준을 구체적으로 분석하고 어떠한 기술개발이 더 필요한지를 알아내는 방법으로 개발 및 실용화 가능성을 판단하는데 중요한 기초가 된다.

<표 5> 적외선 검출기 기술준비레벨(TRL)

구분	소요기술	국내기술수준					기술 확보 여부 평가
		ADD	산	학	연	종합(TRL)	
하이브리트 칩(HC)	초점면 배열 설계/ 제작기술	☆	☆	◎	○	Level 4	부분 확보
	ROIC 설계/ 제작기술	★	★	◎	○	Level 5	확보 단계
	마이크로범프 형성기술	☆	★	◎	○	Level 5	확보 단계
	플립칩 본딩기술	☆	◎	◎	○	Level 4	부분 확보
	후면연마 기술(thinning)	☆	☆	◎	○	Level 4	부분 확보
	성능평가 기술	★	◎	◎	◎	Level 5	확보 단계
저온용기 (Dewar)	저온용기 열/구조 설계기술	☆	◎	◎	○	Level 4	부분 확보
	Cold shield 설계/ 제작기술	☆	◎	○	○	Level 4	부분 확보
	광 경로 추적기술	◎	○	◎	○	Level 3	미 확보
	저온용기 부품 제작기술	☆	★	○	○	Level 5	확보 단계
	G-M sealing 제작기술	★	★	○	○	Level 5	확보 단계
	성능평가 기술	★	◎	○	○	Level 5	확보 단계
냉각기 (Cooler)	구조의 열해석 기술	☆	○	○	◎	Level 4	부분 확보
	열교환기 설계/제작기술	☆	◎	○	☆	Level 4	부분 확보
	스티어링 압축기 설계/제작 기술	◎	◎	○	☆	Level 4	부분 확보
	냉각성능 평가 기술	☆	◎	○	★	Level 5	확보 단계

※ 범례: ○ 국내기술 전무, ◎ 기초연구 단계, ☆ 기술적용가능 단계, ★ 기술확보 단계

우리나라는 <표 3>과 같이 국내 연구개발 환경에 부합되는 '기술개발단계 9단계'를 ADD가 미국의 사례를 벤치마킹하여 적용하고 있다.

### 3.1.2 적외선 검출기 기술수준 분석

적외선 검출기 관련 주요 핵심기술의 국내 보유현황을 획득기술 목표와 비교하면 다음 <표 4>와 같으며, <표 5>는 적외선 검출기 개발 소요기술에 대한 국내 기술수준을 기술준비레벨(TRL)로 나타내고 기술 확보상태를 분석한 것이다.

적외선 검출기 관련 각 기술들 중에서 냉각기 기술은 민·군 겸용기술로 개발 중에 있으며 이를 활용할 계획이다. 하이브리드 칩(HC) 및 저온용기(Dewar) 관련 기술 등은 현재까지 군(ADD)이 가장 발전된 기술을 보유하고 있으며 기술준비레벨(TRL)은 4~5수준으로 국내 자체 연구개발을 통해 개발할 계획이다.[12]

### 3.2 기술측면에서의 개발가능성 분석

냉각 비주사식 320×240 배열 적외선 검출기 관련 기술을 세분화하면 12개 기술로 분류가 가능하다.(냉각기 제외) 이 각각의 기술을 기술준비레벨(TRL)로 정의하여 현 기술수준을 판단하면 <표 6>과 같다.[14]

<표 6> 적외선 검출기 기술수준 종합

소요 기술	종합 수준 (TRL)	TRL 5	TRL 4	TRL 3
총 12개	TRL 4.5	6개	5개	1개

※TRL 5 : G-M scaling 기술 외 5개

※TRL 4 : 초점면 배열설계/ 제작 기술 외 4개

※TRL 3: 광 경로 추적 기술

이를 분석해 보면 현재 국내의 적외선 검출기 기술수준은 TRL 4.5 수준으로, 실험실/유사 환경에서 구성품 수준의 성능입증 단계이며 부품(시제품)이 결합되어 불안정하지만 종합적으로 성능을 발휘할 수 있으나, 최종 체계에 비해서는 성능이 상대적으로 불완전한 상태이다.

따라서 적외선 검출기 관련 기술들은 비록 현재로서는 아직 성숙되지 못한 기술이기는 하지만 국내의 발전된 반도체 기술과 국방과학연구소(ADD)의 해외기술협력 등 연구개발 계획이 잘 집행된다면 적외선 검출기 개발은 충분히 가능할 것으로 판단하였다.

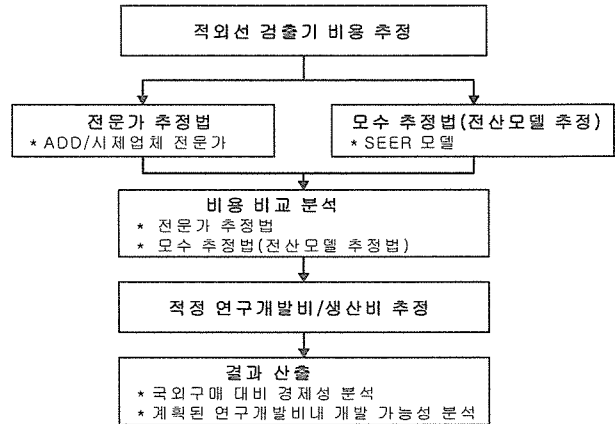
한편 적외선 검출기의 기술수준은 다음 4장의 획득비용 추정시 연구개발 환경 매개변수로 반영되어 비용측면에서의 개발 가능성 및 적정 획득비용을 추정하는데 영향을 미친다.

## 4. 비용측면에서의 개발가능성 분석

무기체계 획득방법은 연구개발과 국외도입으로 구분할 수 있으며, 연구개발은 다시 국내 연구개발과 국제협력 연구개발로, 국외도입은 기술도입생산, 직구매,

임차로 구분할 수 있다.[1] 본 연구에서는 적외선 검출기 획득방법으로서 국내 연구개발과 국외구매(직구매)만을 고려하여 비용면에서의 개발가능성 및 경제성을 분석하였다.

획득방법별 검출기 비용분석 방법 및 절차는 <그림 4>와 같으며, 비용분석 방법으로는 국내에서 과거에 생산한 경험이 없고 이와 관련된 비용자료가 부족한 경우에 사용하는 전문가 추정법과 모수 추정법(전산모델 추정법)을 사용하였다.[2] 이러한 두 가지 비용추정 방법을 통해 적정 연구개발비와 생산비를 추정하였으며, 국외구매시 비용과 비교 분석하여 국내 연구개발시 경제성 및 비용 측면에서의 개발가능성을 분석하였다.



<그림 4> 적외선 검출기 비용분석 방법 및 절차

### 4.1 국내 연구개발시 비용분석

#### 4.1.1 전문가 추정

적외선 검출기 제작 공정은 유사제품인 반도체 생산 공정과 비교하여 국방과학연구소의 개발 전문가와 시제 생산업체의 전문가(Expert)에 의해 연구개발비 및 생산비를 추정하였다.

#### 가. 연구개발비(Development Cost)

K-1 전차장 조준경용 적외선 검출기 개발 관련 '04년에 최종 결정된 사업에 할당된 예산은 75.56억원으로 연도별 배분현황과 구성요소별 현황은 <표 7>과 같다.

<표 7> 구성요소별 연구개발비 현황

구성요소	계	연도별 소요 예산(억원)		
		'06	'07	'08
계	75.56	19.84	27.36	28.36
시제비	69.0	18.0	24.0	27.0
자산취득비	3.0	1.0	2.0	0
수용비	1.5	0.5	0.5	0.5
시험평가비	1.0	0	0.5	0.5
조사활동비	1.06	0.34	0.36	0.36

이때, 연구개발에 참여하는 인력은 국방과학연구소(ADD)가 6명으로 사업관리, 검출기 설계, 검출기 제작 공정 관리, 시험평가, 규격화 등의 임무를 수행하며, 시

제 생산업체는 10명은 ADD 연구 보조 및 시제생산 임무를 수행할 계획이다. 그런데 연구개발비 중에는 시제 생산업체 인력의 노무비는 반영되었으나 국방과학연구소 연구 인력의 인건비는 연구개발비에 반영되지 않은 상태다. 따라서 이들의 인건비 9억(6명× 0.5억/년× 3년)은 연구개발비에 산정되어야 한다.

결론적으로 320× 240 배열의 적외선 검출기 연구개발은 '06~'08 3년간 국방과학연구소 6명과 시제업체 10명이 참가하여 검출기 시제 36조와 영상모듈시제 2조를 생산하여 개발할 계획이며, 이때 소요되는 연구개발비는 국방과학연구소 인건비를 포함하여 총 84.56억이다.

**나. 생산비(Production Cost)**

원가계산 비목은 재료비, 노무비, 경비, 일반관리비 및 이윤으로 구분하여 산정하게 되어 있으며, 본 연구에서는 전문가(ADD/시제업체) 제시 비용자료를 원가계산 비목에 근거하여 산정하였다.

**(1) 재료비**

적외선 검출기 생산시 소요되는 재료 중에서 국외 구매 재료는 Wafer와 냉각기가 있다. Wafer는 장당 1,200만원으로 검출기에 사용되는 칩(Chip)을 30개 제작할 수 있으며, 수율이 0.5인 경우 15개의 적외선 검출기를 생산할 수 있다. 냉각기는 개당 500만원으로 검출기당 1개씩 사용된다. 기타 검출기 공정시 소요되는 국내 재료비는 1개 Chip당 120만원이다.

**(2) 노무비**

국방과학연구소 및 시제 생산업체에서는 생산시 소요 인력을 30명으로 추정하여 제시하였으며 이때 소요되는 노무비를 연간 15억으로 제시하였다. 그런데 이 비용은 <표 11>과 같이 시제업체가 제시한 생산인력 30명에 대한 각각의 노무비를 계산하면 8.7억으로서 15억과는 6.3억의 차이가 발생한다. 따라서 이렇게 차이가 나는 비용 6.3억은 간접노무비로 판단하였으며 이는 연구개발비 자료를 제시한 전문가(ADD/시제업체)들도 동의하였다.

<표 8> 적외선 검출기 생산시 경비 및 일반관리비 내역

구 분	전문가 제시 (ADD/시제업체)	분석 결과	비 고
연구개발비	75.56억	84.56억	ADD 인건비 포함(9억)
생산설비비	30억	삭감	감가상각비로 반영
감가상각비	10억/년	10억/년	5년간
지급임차료 (기회비용)	3억/년	3억/년	10년간
시험평가비	50만원 /검출기	50만원 /검출기	
ROIC 공정비용	1.5억/년	1.5억/년	생산기간
공정 보수유지비	2억/년	2억/년	생산기간

**(3) 경비 및 일반관리비**

적외선 검출기 생산시 소요되는 경비 비목에 포함되는 비용은 <표 8>에서 보는 바와 같이 연구개발비, 생산공장 및 설비에 대한 감가상각비, 생산설비에 대한 지급임차료(기회비용), 시험평가비, 공정보수 유지비 등이다.

이때 감가상각비 및 지급임차료(기회비용) 산정 관련하여 <표 9>에서 보는 바와 같이 국방과학연구소와 시제업체에서 제시한 적외선 검출기 생산에 필요한 건물 및 생산설비비는 총 50억원으로 건물비 20억, 생산설비비 30억이다. 따라서 고정투자비로서 50억에 대한 감가상각은 업체 요구대로 5년 동안 매년 10억씩 생산단가에 반영하였으며, 업체가 투자한 생산설비비 30억에 대한 기회비용으로 10년 동안 매년 3억씩 생산단가에 반영하였다. 그러나 건물비 20억에 대한 기회비용은 시제업체의 의견을 반영하여 기회비용 산정에서 제외하였다.

<표 9> 감가상각비 반영 결과

구 분	비용	전문가 제시 (ADD/시제업체)	분석 결과	비 고
건물비	20억	-	-	
생산 설비비	30억	30억	삭제	감가상각비로 반영
감가상각		50억× 0.2	50억× 0.2	5년간
기회비용		30억× 0.1	30억× 0.1	10년간
계		43억 - ①	13억 - ②	

※ ① 전문가 제시:생산설비비 30억은 생산시작연도에 보상, 감가상각 및 기회비용은 연간 13억씩 보상

② 분석결과: 생산설비비 30억에 대한 보상은 감가상각비에 포함, 기회비용은 업체가 제시한 생산설비비에 한해 연간 3억씩 보상

**(4) 적외선 검출기 단위 생산원가**

지금까지 분석한 전문가 제시 비용을 방산물자 원가계산 기준에 따라 재료비, 노무비, 경비, 일반관리비 및 이윤으로 구분하여 적외선 검출기의 단위당 생산원가를 산정하였으며, 수율 0.5, 연간 300조 생산시 생산단가는 <표 10>에서와 같이 검출기당 2,300만원이다.

<표 10> 수율 0.5, 연간 300조 생산시 생산원가[FY04]

원가요소	내 용	비 용	비고
제조원가	재료비	Wafer 외	21억원/년 ①
	노무비	노무비	15억원/년 ②
	경비	연구개발비 외	24.5억원/년 ③
	소계	①+②+③	60.5억원/년 ④
일반관리비	공정유지비	2억/년	⑤
총원가	④+⑤	62.5억원/년	⑥
이윤	총원가× 10%	6.25억원/년	⑦
계산가격 (생산단가)	(⑥+⑦)÷ 300	2,300만원 /검출기	

※ 수율 및 생산량 변화에 따른 생산단가 변화  
 ① 수율 0.5, 연간 500조 생산시: 1,700만원,  
 ② 수율 0.25, 연간 300조 생산시: 2,500만원,  
 수율 0.25, 연간 500조 생산시: 1,900만원

#### 4.1.2 전산모델(SEER-H)에 의한 비용 추정

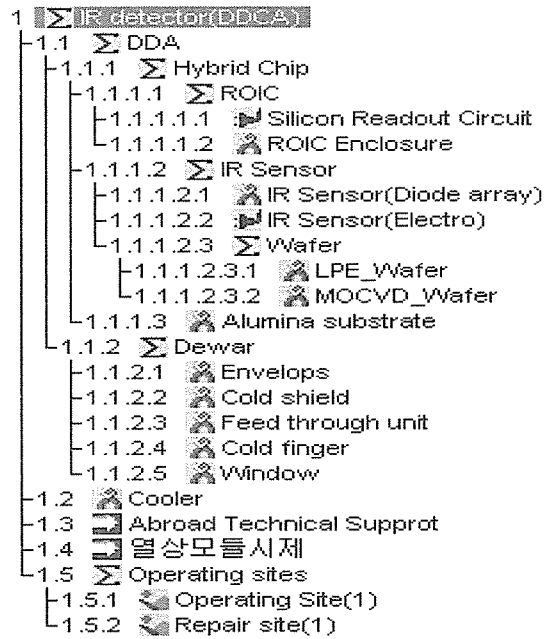
1983년 미국 Galorath Inc.에서 개발한 SEER 모델은 SERR-H, SEER-SEM, SEER-DFM이 있으며, 이 중에서 본 연구에서 사용한 모델은 2001년 개발한 SEER-H 5.1.15 버전으로 H/W의 개발, 생산, 운용유지비용을 추정하는 전산모델이다. SEER 모델을 이용한 비용추정은 가용자료가 부족한 사업초기 단계에서의 비용추정을 가능하게 하며, 매개변수(Parameter)값을 정확하게 넣을수록 보다 신뢰성 있는 비용추정이 가능할 뿐만 아니라, 신뢰도에 따른 비용 범위 추정, 비용 및 기간 위험도 분석, 다양한 보고서 지원 등이 가능함으로써 이용자가 보다 효과적이고 신속하게 비용을 추정할 수 있게 한다.

SEER-H 모델을 이용하여 비용을 추정하기 위한 절차로는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 적외선 검출기의 작업분할구조(WBS) 구성 및 Element 정의, 각 Element의 매개변수(Parameter) 값 지정, 모델 운용, 보고서 분석, 다양한 보고서 지원 등이 가능함으로써 이용자가 보다 효과적이고 신속하게 비용을 추정할 수 있게 한다.

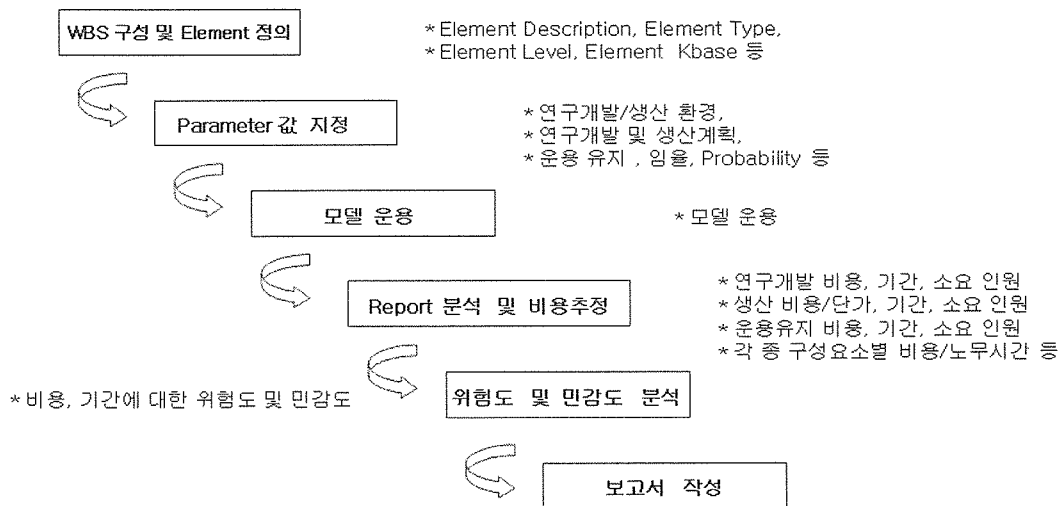
##### 가. 적외선 검출기 WBS 및 SEER Element 정의

SEER-H 모델을 이용한 비용추정을 위해 적외선 검출기의 작업분해구조(WBS: Work Breakdown Structure)

를 레벨 4단계까지 분할한 다음, 이를 기초로 SEER 모델에서 사용할 Element 구성은 <그림 5>와 같이 총 25개 Element로 구성하였다.



<그림 5> 적외선 검출기 SEER 모델 Element



<그림 6> SEER 모델 운용 절차

##### 나. 매개변수(Parameter) 값 설정

SEER-H 모델에 있어 Parameter 값은 기본적으로 Knowledge Base에 의해 표준값이 지정되어 있어 Parameter 값을 지정하지 않아도 비용을 추정할 수 있다. 이는 과거의 많은 경험치를 근거로 구축된 데이터 베이스가 있기 때문이다. 그러나 이 값은 추정하고자 하는 비용 값과 차이가 발생할 수 있다. 따라서 개발하고자 하는 목적물의 특성과 개발 및 생산 환경 등 비용

에 영향을 미칠 수 있는 요인을 보다 정확하게 설정해 줄수록 보다 신뢰성 있고 실제에 근접한 비용 값을 추정할 수가 있는 것이다.

적외선 검출기에 대한 SEER-H 모델 운용시 고려한 Parameter 값 설정은 개발/생산 계획, 개발 환경, 생산 환경, 임율, 상용구매품, 개발난이도 등이며 세부 설정 값은 다음과 같다.

<표 11> 연구개발 및 생산 계획 Parameter 값 설정

구분	Parameter	Parameter 값	관련근거	비고
연구개발계획	기간	3년	ADD 연구개발계획	'06.1월~'08.12월
	시제	• 검출기 시제 36조 • 영상모듈 시제 2조		검출기 시제 : 연구 12조, 시험 24조
생산계획	기간	10년	• 국방연구개발계획 • 합동군사전략목표 기획서(JSOP)	'09.1월~'18.12월
	생산량	3,000조		300조/년
	학습률 (Learning Curve)	90~95%	ADD/시제업체 제시	반도체 생산라인 특성 고려
	학습효과 정지점 생산량 (Stop Learning Quantity)	600조		생산기간 중 생산자 2~3회 교체 예상

**(1) 개발 및 생산 계획(Program schedule)**

적외선 검출기 개발 및 생산 계획 Parameter 값 및 설정 근거는 앞의 <표 11>과 같이 연구개발 기간 3년, 시제 38조(검출기 36조, 영상모듈 2조), 생산기간 10년, 생산량 연 300조(혹은 500조) 등이다.

**(2) 연구개발 환경(Development Environment)**

적외선 검출기 국내 연구개발 환경의 매개변수 (Parameter) 값은 3 가지로 연구개발자의 능력 및 경험 (Developer Capacity & Experience), 연구개발 도구 및 숙련도(Development Tools & Practices), 요구조건 변화 정도(Requirement Volatility)이다. 이러한 Parameter의 값을 설정함에 있어 기준은 기술준비레벨(TRL)을 적용하였으며 기술준비레벨(TRL)별 적용 기준은 <표 12>와 같다.

<표 12> 연구개발 환경 Parameter 값 설정기준

SEER	VHi	VHi-	Hi+	Hi	Hi-	Nom+	Nom	Nom-	Low+	Low	Low-	VLo+	VLo
	Extensive experience(90%)		Considerable experience(75%)			Some experience(55%)			No experience(35%)			No experience(5%)	
	Fully Automated (CAD, HDL)		Highly Automated (CAD,HDL)			Some Automated (CAD,HDL)			Experimental Use (Design Tools)			Non	
	Frequent Moderate Changes		Occasional Moderate Changes			Occasional Minor Changes			Essentially No Requirements Changes			-	
TRL	9		8	7	6	5	4	3	2			1	

비용 추정시 연구개발 환경 Parameter 값을 선진국 미국과 우리나라의 실제 환경에 부합하도록 설정한 값은 미국은 기술준비레벨(TRL) 8 수준인 Hi+, 한국은 4와 5 수준인 Nom과 Nom+다.

**(3) 생산 환경(Production Environment)**

적외선 검출기 생산 환경 Parameter는 2 가지로 생

산경험(Production Experience)과 생산 도구 및 숙련도(Production Tools & Practices)이다. 이러한 Parameter 값을 설정함에 있어 기준은 시제업체의 생산능력과 경험을 반영하였으며 Parameter 값 설정 기준은 <표 13>과 같으며, 비용 추정시 생산 환경 Parameter 값을 선진국인 미국과 우리나라의 실제 환경에 부합하도록 설정한 값은 미국은 Hi+, 한국은 Nom이다.

<표 13> 생산 환경 Parameter 값 설정 기준

SEER	VHi	VHi-	Hi+	Hi	Hi-	Nom+	Nom	Nom-	Low+	Low	Low-	VLo+	VLo
	Near Perfect Team/ Extensive experience(90%)		Extraordinary team/ Some experience (75%)			Functional Team/ Some experience(55%)			Functional with low effectiveness/ No experience(35%)			Non-Functional Team/ No experience(5%)	
	Large scale production, highly mechanized operations		Medium scale production, some mechanized operations			1-2 thousand units produced, little numerically controlled machining			Less than 1,000 units produced, standard plus some custom tools			Less than 100 units produced, standard tools and fixtures predominant	



**(4) 운용 및 지원(Operating & Support)**

적외선 검출기 운용 및 유지 Parameter 중에서 MTBF(Mean Time Between Failure)는 5,000시간, Operating Site와 Support Site는 각각 1개소, 정비단계는 창정비로 설정하였다. 이러한 Parameter 값을 설정함에 있어 기준은 ADD/시제업체의 제시 자료와 야전조사 결과를 반영하였다.

**(5) 구매부품(Purchased Items)**

적외선 검출기 개발 및 생산간 국내·외에서 구매하여 사용하는 주요 품목은 Wafer와 냉각기가 있으며, 이의 Parameter 값으로 Wafer는 1개 Chip 각준시 연구개발시는 1,400만원, 생산시는 80만원이고, 냉각기는 해당 연구개발시는 1,100만원, 생산시는 500만원이다. 이렇게 연구개발시와 생산시 가격 차이가 나는 이유는 구매시 물량이 적고 많음에 따른 것이다.

**(6) 임율(Hourly rate)**

임율은 ADD와 시제업체의 제시자료를 기초로 연구

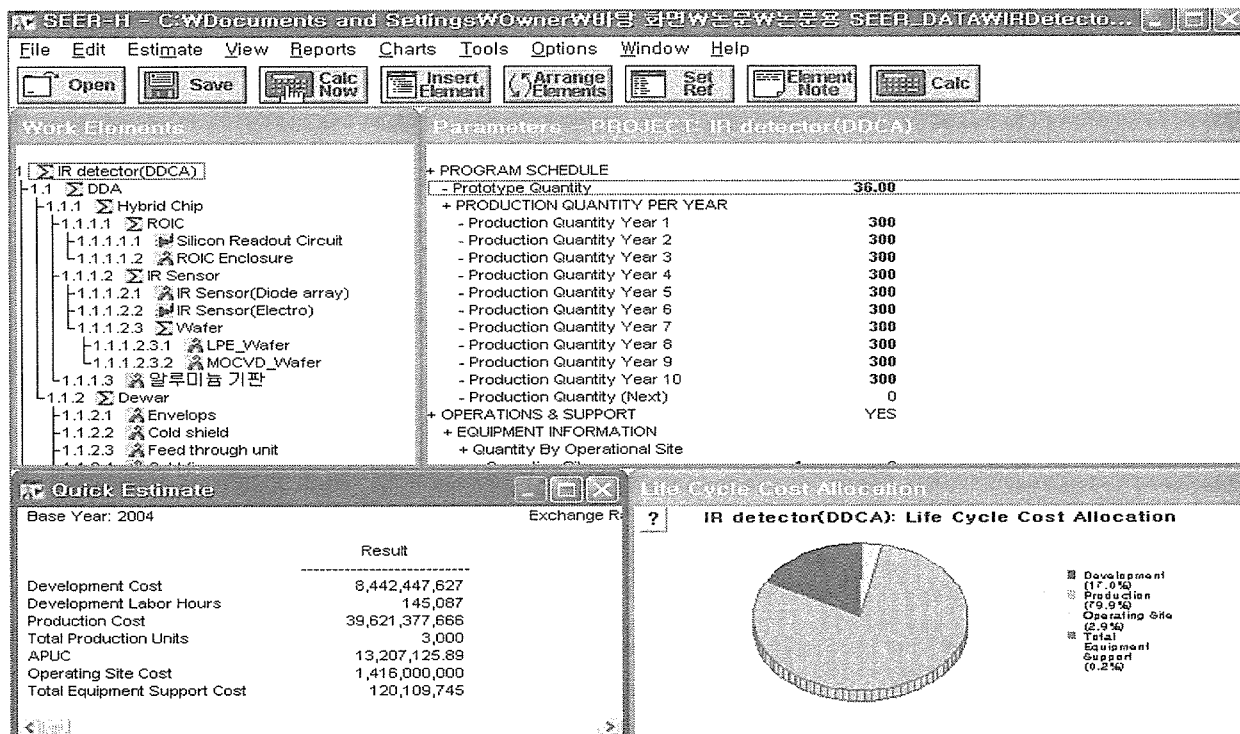
수룩 개발 및 생산하기가 어렵다는 의미이다. 이에 따라 적외선 검출기 개발에 가장 핵심적이고 개발 난이도가 높은 IR Sensor(Diode array) Element에 대해서는 기술위험도를 80% 수준으로 적용하고 기타 Element는 50% 수준을 적용하였다.

**다. SEER-H 모델을 이용한 비용 추정**

320× 240 배열 적외선 검출기를 수율 0.5, 생산량 연간 300조, 개발기간 36개월, 시제수량 36조 조건에서 SEER-H 모델을 이용하여 연구개발비와 생산비를 추정하면 <그림 7>과 같이 연구개발비용은 84.4억, 생산비는 396.2억원이다.

**라. 국내 연구개발시 생산단가**

전문가 추정법과 SEER-H 모델을 이용하여 추정된 적외선 검출기 생산단가는 <표 14>에서와 같이 적정이윤을 포함하여 2,239만원으로 추정되었으며 이때의 신뢰수준은 77%이다.



<그림 7> 적외선 검출기 생산비 추정

개발시와 생산시 임율을 산정하였으며, 미국의 임율은 SEER의 Knowledge Base값을 적용한 결과 한국은 연구개발시 34,000원, 생산시 28,000원 미국은 연구개발시 155,325원, 생산시 135,505원이다.

**(7) 기술위험도(Probability)**

적외선 검출기 개발 및 생산시 각 Element별 기술위험도에 따라 개발 및 생산비는 많은 영향을 받는다. 기술위험도가 높으면 비용이 증가하는 반면 신뢰도 또는 성공가능성은 증가한다. 이는 기술위험도 수치가 높을

<표 14> 국내 연구개발시 생산단가 추정

구분	전문가 추정	SEER-H 모델
연구개발비용(억원)	84.56	84.4
생산비용(억원)	413.7	396.2
비반복 투자비반영 (만원/조)	433	433
적정이윤(10%) (만원/조)	209	204
생산단가(만원/조)	2,303	2,239

## 4.2 국외 구매시 비용 분석

K-1 전차장 조준경 적외선 검출기를 국외에서 도입 시 비용을 분석하기 위한 방법은 과거 도입 견적가, 오퍼(offer) 가격 등을 비교하여 적정 비용자료를 채택하여 적정 가격을 추정하였다. 이 결과 국내 업체와 국방품질관리소 등 관련 기관을 통해서 조사된 H-FLIR 도입 견적가 비용자료가 가장 신뢰성이 있었으며, 가격은 28,376 유로(4,052 만원, 1유로=1,428원, FY 04)이다.

그런데 이는 공중용 제품으로서 지상용 제품(K-1 전차장용 적외선 검출기) 가격으로 보정하기 위해 SEER-H모형을 이용하여 Platform 조건을 지상용과 공중용으로 구분하여 분석하면, 공중용 대비 지상용 적외선 검출기의 비용 비율은 89.6%이다. 따라서 과거 도입 견적가를 통해 조사된 적외선 검출기의 지상용 가격은 약 3,600 만원(공중용× 89.6%)으로 추정되었다.

## 4.3 비용측면에서의 개발가능성 및 경제성 분석

SEER-H 모델을 이용하여 추정한 K-1 전차장 조준경용 320× 240 배열 적외선 검출기의 국내 연구개발시의 생산단가는 2,239만원이다. 이는 사업계획을 조건으로 하여 분석한 국과연 전문가 분석에 의해 추정된 생산단가 2,300만원과 비교시 비용측면에서 충분히 가능성이 있는 것으로 판단하였다.

한편 국외 구매시 추정된 도입단가는 3,600만원으로 국내 연구개발시 방법과 비교시 비용측면에서 국내 연구개발을 통한 획득방법이 충분히 경제성이 있는 것으로 판단하였다.

## 5. 연구개발 대안분석 및 사업위험관리

연구개발시 비용을 절약하고 기간을 단축하는 대안을 SEER-H 모델을 이용하여 분석한 결과와 사업의 고위험 식별 및 관리 방안은 다음과 같다.

<표 15> 개발기간 및 비용 단축을 위한 추정

구 분	SEER-H 기본값 (KBase)	대안 #1	대안 #2	대안 #3
		개발기간 최대 단축	개발기간 24개월 고정	기간 24개월, 시제 24조
기간(월)	36	17	24	24
시제(조)	36	36	36	24
비용(억)	84.4	79	81.7	61.7
인원(명)	25	51	37	26
신뢰수준 (%)	77	77	77	77

### 5.1 개발기간 단축 및 비용 절감 대안 분석

개발기간을 단축하는 대안으로 최대 단축시와 회계연도를 고려한 24개월 고정시의 2가지 대안과 비용을 절감하는 대안으로 개발시제를 36조에서 24조로 줄이는 대안 등 총 3가지 대안을 가정하였다. 각 대안에 대한 SEER-H 모델을 이용한 분석결과는 <표 15>와 같으며,

각 대안별 세부 분석내용은 다음과 같다.

#### ① 대안 #1 분석

개발기간을 최대 단축하기 위해 최적화된 조건에서 추정하여 SEER-H 모델 기본값과 비교 분석해 보면, 비용은 5.4억이 절감될 수 있고 개발기간은 19개월을 단축할 수 있는 반면 인원은 26명이 더 소요된다.

#### ② 대안 #2 분석

개발기간을 24개월로 가정할 경우 추정된 값을 SEER-H 모델 기본값과 비교 분석해 보면, 비용은 2.7억 원을 절감할 수 있고 기간은 12개월을 단축할 수 있으나 인원은 12명이 추가로 소요된다.

#### ③ 대안 #3 분석

개발기간을 24개월, 시제 수량을 24조로 조정시 추정된 값을 SEER-H 모델 기본 값과 비교 분석해 보면, 개발비용은 22.7억원이 절약되고, 기간은 12개월이 단축 가능하나 개발 소요인원은 1명이 추가 소요된다.

대안분석 결과 SEER-H 모델의 Knowledge Base에 근거한 최적화된 조건에서, 연구개발에 소요되는 인력을 조절하면 기간을 단축하고 비용을 절감할 수 있는 여러 가지 방안을 도출할 수 있다.

따라서 적정 소요인력 운용과 연구개발/사업관리 기법(PERT/CPM, EVMS 등)을 적절히 활용하여 최적화된 연구개발 환경을 조성한다면 개발기간을 단축하고 비용을 절감할 수 있는 최적의 대안 도출이 가능할 것이다.

## 5.2 신뢰수준이 연구개발에 미치는 영향 분석

개발성공 신뢰수준을 77%→ 90%로 향상시 연구개발에 미치는 영향을 분석해 보면 <표 16>에서와 같이 연구개발비용이 추가로 소요됨을 알 수 있다. 따라서 연구개발 사업의 성공을 위해서는 추가소요가 예상되는 비용 중에서 적정 비용을 사업 예비비로 책정함으로써 연구개발시 위험(Risk) 관리에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

<표 16> 신뢰도 수준을 90%로 향상시 연구개발비

구 분	SEER-H 기본	대안 #2	대안 #3	연 500조 생산시
		개발기간 24개월	개발기간 24개월, 시제24조	개발기간 24개월, 시제24조,
신뢰도 77%	84.4억	81.7억	61.7억	63.6억
신뢰도 90%	92.8억	90억	67.2억	69.1억
증감액	+ 8.4억	+ 8.3억	+ 5.5억	+ 5.5억

### 5.3 적외선 검출기 개발사업 위험관리

K-1 전차장 조준경 적외선 검출기 개발사업의 성공

가능성을 높이기 위해서는 고위험(High Risk)요소를 식별해서 별도 위험관리를 해야 한다. 본 연구에서 도출된 고위험(High Risk) 요소 중 일부 요소에 대해 관리방안을 제시하면 다음과 같다.

**가. 적외선 검출소자(Wafer) 획득관리**

적외선 검출소자는 지난 '86년부터 국과연을 포함한 국내 업체/연구소가 개발을 시도하였으나 수율 등의 문제로 실패한 부분이다. 따라서 K-1 전차장 조준경 적외선 검출기 개발사업에서는 국외에서 구매하는 것으로 추진하고 있다.

그런데 적외선 검출기 소자를 생산하는 국가는 미국, 영국, 프랑스, 이스라엘, 러시아 등이 있으며 생산시 도입할 국가는 영국으로 웨이퍼(wafer) 한 장에 1,400만 원이다. 그런데 경우에 따라서는 영국이 수출을 통제하거나 비용을 상향 조정할 가능성도 배제할 수 없으므로 이에 대한 대비책을 수립하여야 한다. 대비책의 일환으로서 국산화가 가장 바람직하겠지만 현실적으로 기술이 부족하므로 수입선의 다변화, 계약시 협상 등을 통해서 안정적인 공급이 이루어져야 할 것이다.

**나. 냉각기 개발관리**

K-1 전차장 조준경 적외선 검출기 개발사업에서 냉각기는 민·군 겸용과제로 개발한 제품을 구입하여 활용하도록 계획되어 있다. 그런데 적외선 검출기 국내 개발시 생산단가에서 냉각기는 500만원으로 이는 생산단가의 25% 이상을 차지하고 있다. 따라서 비용만으로 본다면 적외선 검출기의 가장 첫 번째 관리요소가 냉각기이다. 또한 냉각기가 계획된 기간('03~'08) 내에 개발되지 못한다면 이는 적외선 검출기 개발에 큰 장애가 될 것이고, 개발 실패시는 냉각기를 국외에서 구매해야 하는 사태가 발생할 수가 있다. 이는 냉각기 도입 가격의 상승(국외 도입시 가격은 900만원 이상)을 초래하여 경제성 면에서 경쟁력을 상실할 수가 있다.

따라서 K-1 전차장 조준경 적외선 검출기 개발사업에서 냉각기가 차지하는 비중을 고려해볼 때, 개발관리기관(국과연)이 적극적으로 확인하고 점검하여 비용을 낮추고 개발기간 내에 요구되는 성능을 달성할 수 있도록 긴밀한 협조와 사업관리가 이루어져야 한다.

**다. 적정 생산시설 규모와 가동률**

적외선 검출기 생산 시설은 상용 장비 및 시설을 활용할 수 있으며, 생산 공정만이 상용 반도체 생산과 차이가 있을 뿐이다. 따라서 개발 단계부터 반도체 공정 시설과 숙달된 인력을 가진 업체를 시제 생산업체로 선정하여 개발에 참여토록 하며, 생산 시설의 규모는 생산량을 고려하여 최적화된 생산설비를 갖추어야 한다. 이에 대한 중요한 참고 기준은 <표 17>과 같다.

<표 17>에서 보는 바와 같이 최적화된 생산설비에서는 연간 300조를 생산하는데 10명이 12개월간 공장을 가동해야 한다. 그러나 국방과학연구소(ADD)에서 제시

한 것처럼 30명의 생산 인력을 운용한다면 동일한 생산 설비로 4개월이면 생산을 마칠 수 있으며, 연간 500조를 생산한다 해도 6.8개월이면 생산을 완료할 수 있다. 따라서 최적화된 생산 공정과 설비를 갖춘다면 연간 500조 생산시 최소 17명 이하로 생산인력을 운용해야 한다. 이는 국방과학연구소(ADD)가 계획했던 인원 30명의 절반수준이다.

<표 17> 적외선 검출기 생산공장 가동률 판단

구 분	SEER-한국		SEER-미국
	연 300조 생산	연 500조 생산	연 500조 생산
최적화된 생산설비에서 연 12개월 가동시 생산인원	10 명	17 명	9 명
생산인원을 30명으로 운용시(ADD 연구개발 계획) 최적화된 생산설비에서의 연간 가동기간	4 개월	6.8 개월	3.6 개월

한편, 연간 500조를 생산하기 위해 생산인원을 30명으로 운용시 약 7개월이면 생산이 완료된다고 했을 때, 나머지 약 5개월의 활용방안이다. 생산 공정을 멈추었다 다시 가동하는 것은 비용 측면에서 비경제적이며 생산인력의 활용 면에서도 학습효과가 저하하는 등 불리하다. 따라서 이에 대한 합리적인 대안이 필요하다.

이에 대한 대안으로는 생산인력을 25명으로 줄여서 운용하면서 차기 적외선 검출기 모델(640× 480) 시제 개발에 병행 사용하는 방안으로, 이는 연구개발시 소요 인원과 동일한 규모의 생산 인원을 운용하면 연 12개월 중 2/3(약 8개월)는 320× 240 배열의 적외선 검출기를 생산하고, 1/3(약 4개월)은 차기모델 시제 생산으로 활용할 수 있는 절충안이다.

**6. 결 론**

본 연구를 통해 K-1 전차장 조준경용으로 사용될 320× 240 배열의 냉각 비주사식 적외선 검출기의 연구개발 가능성을 기술과 비용 측면에서 분석하였으며, 개발 성공을 위한 연구개발 대안과 사업관리의 고위험 요소 관리 방안을 제시하였다.

적외선 검출기는 군사용으로 중요한 역할을 수행하는 열영상장비의 핵심부품으로 다양한 무기체계에 사용되고 있을 뿐만 아니라 앞으로 더욱 그 활용도가 증가할 전망이다. 또한 민간분야에서도 의료, 산업, 전기전자, 항해 및 교통, 탐색 및 구조, 치안 등 그 활용분야가 매우 넓다. 그러나 우리나라는 아직 이에 대한 기술을 확보하지 못한 상태로 군사적으로 중요한 핵심부품과 무기체계를 국외에서 구매하고 있는 실정이다. 그런데 이러한 상태는 국가와 군의 경제에 부담이 되고 있을 뿐 아니라 시간이 지날수록 기술격차가 벌어질 위기에 처해 있다. 따라서 K-1 전차장 조준경용 적외선 검출기 개발사업을 기점으로 우리나라도 이 분야에서 기술독립과 군사적/경제적 이익을 달성해야 할 것이다.

분석한 바와 같이 K-1 전차장 조준경에 사용될

320× 240 배열의 냉각 비주사식 적외선 검출기 개발은 기술준비레벨(TRL)을 통한 기술수준 분석 결과 현재는 레벨 4~5수준으로 기간 내에 개발할 개발 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 특히, 기술수준은 SEER-H 모델을 이용한 획득비용 추정시 비용 상승을 유발하는 결정적인 요인이면서 개발의 성공을 좌우하는 매개변수(Parameter)이다. 따라서 본 연구에서는 개발성공 신뢰도 77% 수준과 90% 수준의 연구개발비 소요를 추정하여 제시하였다.

또한 이 사업이 성공할 확률을 높이기 위해서는 Wafer 구매관리 등 고위험(High Risk) 요소를 철저히 관리하여야 하며, SEER-H 모델을 통해 제시된 최적화된 연구개발 대안 및 생산시 적정 가동률 유지 방안 등을 잘 참조한다면 경제적이고 효율적인 적외선 검출기 개발 및 생산이 이루어질 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1]. 국방부, “국방획득관리 규정(국방부 훈령 727호)”, 2003
- [2]. 국방부, “비용분석업무 실무참고서”, 2002
- [3]. 민성기 외, “시스템 엔지니어링 프로세스를 적용한 국방획득사업의 분석평가 방안 연구”, 2003
- [4]. 민성기 외, “시스템엔지니어링 원론[1]”, 시스템체계 공학원, 2004
- [5]. 김철환 외, 「중·고고도 정찰용 무인항공기 사업추진을 위한 사전분석」, 국방대학교, 2003
- [6]. 박명진 외, “GaAs 적외선 탐지소자에 응용 가능한 양자구조에 관한 연구”, 화랑대연구소, 2000
- [7]. 구용서, “전차장 열상조준경(KCPS)의 열상장비 성능평가기법 고찰” 국방품질관리소, 『국방품질지 제 12호』, 2000
- [8]. 권용수, 외 “파라메트릭 기법에 의한 국방획득사업의 비용추정”, 군사과학기술학회(종합학술대회), 2003
- [9]. 한국국방연구원, “2004 국방 비용분석을 위한 경제 지표 및 기초자료”, 2004
- [10]. 합동참모본부, “’06~’10 합동군사전략목표기획서(JSOP)”, 2003
- [11]. 합동참모본부, “’02~’16 합동군사전략목표기획서(JSOP)”, 2000
- [12]. 국방부, “’04~’18 국방연구개발계획서”, 2002
- [13]. 국방부, “’04~’08 국방중기계획”, 2003
- [14]. 국방과학연구소, “2003 국방과학기술조사서 제 12권”, 2004
- [15]. INCOSE, "Systems Engineering Handbook". 2000
- [16]. Benjamin S. Blanchard, "System engineering management."(second edition) 1997