

## KF-16 항공기 SW성능향상사업 비용분석

민성기<sup>1)</sup>, 이철우<sup>1)\*</sup>, Carl Dalton<sup>2)</sup>  
시스템체계공학원<sup>1)</sup>, Galorath Co.<sup>2)</sup>

### KF-16 Software Upgrade Cost Analysis

Sung Ki Min<sup>1)</sup>, Cheol Woo Lee<sup>2)</sup> and Carl Dalton<sup>3)</sup>

1)Kings Garden officetel 3-501, Naesudong, Jongnogu, Seoul, 110-070, Korea  
2)Suite 23 The Old Town Hall Building Castle Street Farnham Surrey UK GU9 7ND

**Abstract** : The purpose of this study and report is to provide, to the MND, an independent cost analysis of modernizing software of F-16 fighter fleets to support the use of several weapon system options, including JDAM, AIM-9X and HARM Targeting System etc. The study analyzed each options with software sizing, software cost, enabling hardware cost, flight test cost, system engineering cost, and 3 strategies. And the study proposed and analyzed some alternative strategies: strategy1 is to modernize software only within existing electronic processing capability; strategy2 is a full upgrade of weapons avionics with plug compatible electronics; strategy3 is an approach defined to mirror the USAF Common Configuration Implementation Approach (CCIP). The recommended alternative is strategy2.

**Key Words** : F-16, fighter(전투기) , Software(소프트웨어), Upgrade (성능향상), Cost Estimate (비용추정), Cost Analysis(비용분석), SEER, Knowledge Base(지식기반)

#### Subscripts

AFB : air force base  
ANG air national guard  
COTS : commercial off the shelf  
CCIU : COTS central interface unit  
CDEEU : common data entry electronics units  
CGAC : COTS general avionics computer  
CMDF : color multi function display  
CPDG : color programmable display generator  
GPS : global positioning system

HARM : high-speed anti-radiation missile  
HTS : HARM targeting system  
JDAM : joint direct attack munition  
JHMCS : joint helmet mounted cueing system  
LM : Lockheed Martin Corporation  
LRU : line replaceable unit  
MMC : modular mission computer

#### 1. 서론

국방부는 현재 운영되는 F-16 항공기의 전투 능력 향상을 위해 00년부터 추가적인 무기를 획득하고자 하는 공군의 요구사항을 확인하였다.

\* 교신저자 : glow99@joins.com

그중에서도 JDAM, AIM-9X & JHMCS 및 HTS 등은 첨단 전투기 무장체계의 핵심부품으로 이상의 무장체계를 획득하고 효과적으로 운영하기 위해서는 성능향상된 운용 소프트웨어를 F-16에 통합 장착해야 한다.

이에 본 연구에서는 국방부의 의뢰로 해당 소프트웨어의 개발과 장착 및 통합시험에 따른 독립적인 비용분석을 실시하여 최소비용으로 소프트웨어만을 성능향상하는 전략(전략1)과 적정비용으로 소프트웨어뿐만 아니라 연관 하드웨어도 일부 성능향상하는 전략(전략2)을 분석하여 국방부의 정책결정을 돕고자 하였다.

## 2. 성능향상 사업개요

### 2.1 분석범위

본 비용분석 범위는 아니지만 이해를 돕기 위해 소프트웨어성능향상 내용이 적용될 주요무장 자체의 구성요소를 소개한다.

#### 2.1.1 JDAM

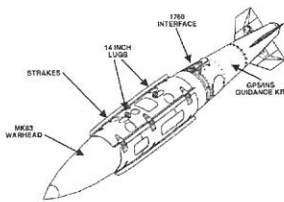


Fig. 1 JDAM

JDAM은 기존의 비유도 자유낙하 폭탄을 정밀한 전천후 유도폭탄으로 변환하는 유도용 Tail Section 장비이다. JDAM 장비는 INS와 GPS 를 포함하는 새로운 Tail Section으로 구성되었다.(그림1)

#### 2.1.2 AIM-9X & JHMCS

AIM-9X & JHMCS는 공중전 상황에서 측면 혹은 후면에서 출현하는 적기에 대해 조종사가 표적을 향해 고개만 돌려도 바라보이는 시야에 표적적기에 대해 자동으로 미사일이 조준됨으로써 공중전에서 공격력과 생존력을 향상시킨 장비이다.(그림2)

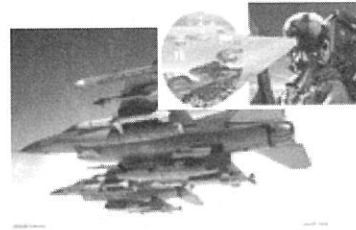


Fig. 2 AIM-9X & JHMCS

#### 2.1.3 HTS

HTS는 적 지대공 미사일 공격위협으로부터 아군 전투기를 보호하기 위해 적 레이더 신호가 포착되면 그 발신위치를 탐지하여 공격할 수 있는 장비이다.(그림3)



Fig. 3 HTS

#### 2.1.4 F-16 블록 32 및 블록 52 형상

공군의 F-16 항공기는 블록 32와 블록 52 2가지 형상으로 각각 다른 기체와 장비명세를 가지고 있다. 특히 블록 52 항공기는 레이더, 항법장치 및 항공 재밍 시스템을 구비하고 있다.

### 2.2 분석의 제한범위

본 분석은 소프트웨어 비용분석에 한정하여 대안별 비용분석형태로 결과를 제공하였다. 하지만 최소비용이 운용관점에서 반드시 최선의 옵션이라고는 할 수 없으며 특정한 옵션이 합리적인 운용방안이 아닐 경우 일부 합리적인 비용/성능 이익이 있을 경우 제한적으로 비용분석에 포함하였다.

## 2.3 자료출처 및 접근방법

### 2.3.1 기술적 조연/정보 출처

각 대안에 대한 기술적 자문은 헐 공군기지에 Air Logistic Center, LM Aeronautics Company,

EFW Incorporated, Software Engineering Associates 등으로부터 기술적 조언을 받았다.

소프트웨어 사이즈 추정은 미공군기지의 SMC를 지원해온 Aerospace Co.의 소프트웨어 개발사업 DB, Galorath 소유의 DB, 공학적 추정 및 출판된 복잡도/완성도 매트릭스에 근거한 소프트웨어 예상 성장도 추정치를 참조하였다

그 외에 납품업체 발간자료와 Jane' s 자료 및 인터넷 상의 기술 정보등을 참조하였다.

### 2.3.2 SEER 도구

SEER 도구는 2세대 파라메트릭 비용추정기법 도구로서 가장 최근에 개발되어 약 8000여 사업비 case에 근거한 Knowledge Base를 구축하고 있다.본 분석에서는 SEER도구를 이용하여 주요 비용을 추정하였다.(그림4)

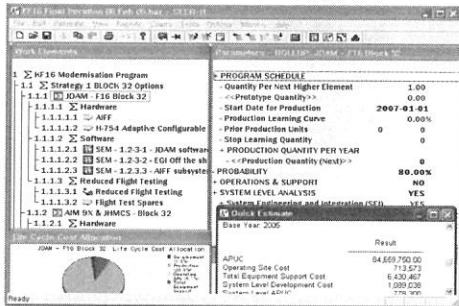


Fig. 4 SEER 도구

## 2.4 가정과 전제

본 연구의 비용추정에 있어서 주요한 기본가정과 전제는 다음 표1~표5 와 같다.

Table 1 전반적 가정사항

#	내용	소스
A1	모든 비용은 2005년 경제지표기준 USS 적용	국방부
A2	이윤포함	Galorath
A3	개발 및 수출 세부과금 미포함	Galorath
A4	비용추정은 80%유 의수준 적용	Galorath
A5	현재 소프트웨어를 신규 프로세서에 활용 및 무장시스템 성능향상 수행	SEA
A6	기술자료에 대한 업데이트 요구사항은 본 분석에서 제외	Galorath

Table 2 소프트웨어 가정사항

#	내용	소스
A7	소프트웨어 성능향상은 설계기관에서 인증된 설계사용 가정	Lockheed Martin,
A8	기존코드에서 15~25% 삭제 가정, 신규코드는 삭제코드와 대략 동일가정	Lockheed Martin,
A9	수정 및 신규 소프트웨어는 하드웨어 인터페이스에 사용되는 C언어/Jovial 사용	Galorath
A10	미국 팀 (Hill AFB PMO 및 LM 협력 업체)이 소프트웨어 개발시, F-16 OFP 경험이 있는 LM엔지니어의 지원가능	Galorath
A11	공군은 F-16 블록50 및 항공전자 소프트웨어에 대한 소스 코드 보유	공군.
A12	공군은 기존 F-16 프로세서에 설치된 소프트웨어 목표 compilers로 된 Jovial 운용 소프트웨어 개발 스테이션 (development station)보유	공군.
A13	공통으로사용된 Knowledge bases: 플랫폼: 항공전자 적용: 지휘 및 통제	Galorath

Table 3 하드웨어 가정사항

#	내용	소스
A14	블록 32:00대 및 블록 52:000대를 기준함	공군
A15	모든 전략에, 블록 32는 GPS 업데이트, 레이더, 및 IFF 현대화	F16PMO HillAFB
A16	블록 52 항공기 GPS는 내장형 GPS 및 INS (EGI)능력으로 현대화 요구	Galorath
A17	연관 하드웨어 요소는 throughput 획득비용으로 검증 없이 사용	Galorath
A18	전략 1의 경우, 블록 32 및 블록 52에 대하여 물리적으로 동일하게 할 의도가 없다. 단순히 무장 시스템을 성능향상 하는 것임	Galorath
A19	블록 52용 CGAC을 제외한 모든 전자 box는 기성품으로 개발비는 제외하며 비 반복 비용은 소프트웨어 개발, 시스템 통합 및 시험에 국한.	Galorath
A20	공통으로 사용된 knowledge bases: 적용: Various 플랫폼: Air-manned 운용유지: RR Equip at 1, Module Replace at Level 3. 획득방법: Production Cost Only 표준: Military Full	Galorath

Table 4 비행시험 가정사항

#	내용	소스
A21	두 전략에 각각 2세트의 비행시험 용 하드웨어 사용	Galorath
A22	비행시험비용은 시험인력, 인건비, 시험기간으로 추정	Galorath
A23	기지설비 사용비용, 수송비용은 제외	Galorath
A24	전략 1의 경우, 하나의 무장 업데이트당 비행 시험은 100 시간을 적용한다.	Galorath
A25	전략 2의 경우, 두 세트의 200 비행시험시간이 필요.	Galorath

Table 5 소프트웨어정비 가정사항

#	내용	소스
A26	서비스 기간은 20년으로 한다.	국방부/공군
A27	성능향상은 07년부터 13년까지 한다. 2011년에 1/3, 2012년에 1/3, 2013년에 나머지 1/3을 한다.	Galorath
A28	항공기는 3년이상 일선배치후 퇴역한다.	Galorath
A29	LRUs에 대한 정비비용은 소프트웨어 지원, 전자 boxes 대체, 성능향상 하드웨어 수리 및 예비품비용에 국한.	Galorath
A30	모든 항공기는 4~6% 활용한다	공군
A31	90% 예비 가용성으로 모델화	Galorath
A32	F-16항공기의 40%는 한 장소에서 운용되고 나머지 60%는 다른 장소에서 운용	공군
A33	US\$4533에 해당되는 인건비를 정비 인건비/월로 한다.	공군

## 2.5 성능향상전략

분석대상인 성능향상전략에는 다음 3가지 전략이 있다.

### 2.5.1 전략1:소프트웨어만 성능향상

이 전략은 기존 F-16의 프로세서 내에서 요구되는 특정한 무장용 소프트웨어만 성능향상 개조하고 해당 무장에 고유하고 필요한 연관 하드웨어(enabling hardware)구성품을 추가하는 전략이다. 항법장치나 레이더 성능향상과 같이 Block 32 형상에 소요되는 특정한 하드웨어는 성능향상할 필요가 있다. 하지만 Block 32 항공기에 HARM 과 HTS

pod 장착 장치를 개조하는 비용은 비용추정에 포함하지 않았다.(그림5)

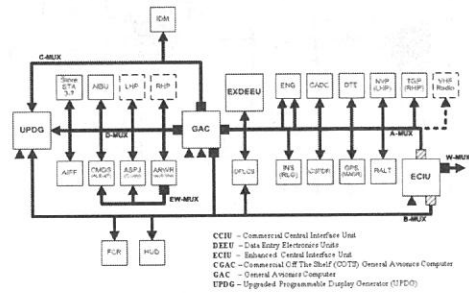


Fig 5 전략1

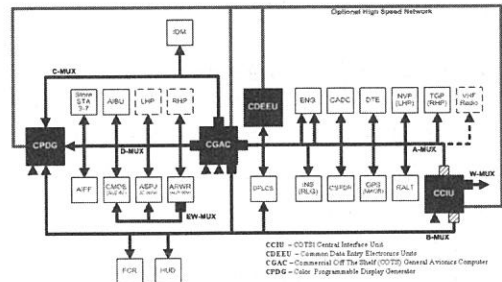


Fig 6 전략2

### 2.5.2 전략2:플러그호환품 전면성능향상

US ANG나 미 공군 예비군의 F-16 현대화 전략과 유사한 성능향상 전략으로 Modular 접근법이라고 일컬어진다. 이는 F-16 시스템과 하위시스템으로의 기능할당은 그대로 유지하면서 GAC, ECIU, UPDG, ECIU등 프로세서를 플러그 호환성 있는 (plug compatible) 시장 기성품인 32비트 프로세서로 성능향상한다.(그림6)

전략2를 수행하면 높은 기술 수준의 무장과 무장 제공기반 (delivery platform)형상을 제공하는 항공전자와 무장의 성능향상 및 링크16 추가 등을 할 수 있게 된다.

### 2.5.3 전략3:미공군 CCIP 성능향상 전략

미공군이 현재 채택한 성능향상전략으로 CCIP (Common Configuration Implementation Program Approach)라고 불리운다.(그림7)

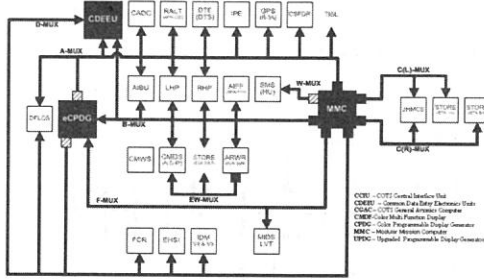


Fig 7 전략3

### 3. 비용분석

#### 3.1 베이스라인 비용

##### 3.1.1 소프트웨어 비용추정

SEER-SEM 모델에서 추정된 소프트웨어 비용은 다음 표6과 같다. 여기에는 항공기 형상에 따른 전략 1 및 전략 2의 개별 무장 성능향상 대안에 따라 각각의 비용을 추정하였다. SEER-SEM에서 소프트웨어 비용추정은 각각의 전략에 대한 총비용을 추정하기 위하여 SEER-H 수명주기비용도구의 적합한 분야에 동적으로 연결되었다.

Table 6 소프트웨어 비용

Software Item	블럭 32		블럭 52	
	개발비 USSK	지원비 USSK	개발비 USSK	지원비 USSK
JDAM SW	1,634	5,413	1,907	4,637
AIM-9X SW	2,511	8,147	2,503	8,055
JHMCS SW 통합	42	0	42	0
HTS SW	2,625	8,640	1,721	8,430
Rehost	1,433	13,049	1,433	13,049
AIFF SW 통합	41	0	0	0
EGI SW 통합	42	0	42	0
Radar SW 통합	20	0	0	0
Link16 SW 통합	33	0	33	0
Regression Test	744	0	744	0

##### 3.1.2 시스템 레벨 비용 추정

시스템 레벨 비용 (SLC: System Level Cost)은 시스템엔지니어링 및 통합 (SEI: Systems Engineering and Integration), 앗셈블리 통합 및 시험 (IAT: Integration Assembly and Test), 시스템 프로그램 관리 (SPM: System Program Management), 시스템 시험운영 (STO: System

Test Operations), 시스템 지원장비 (SSE: System Support Equipment) 비용을 포함한다. 이러한 요소는 소프트웨어 개발비용 및 하드웨어 생산비용에 반영되어 나타난다. 그 결과는 다음 표7과 같다:

Table 7 시스템레벨 비용 추정

SLC	JDAM USSK	AIM9x USSK	HTS USSK	J+A+H USSK	전략2 USSK
블록 32	1,805	2,464	4,706	11,601	16,322
블록 52	1,533	1,813	1,163	3,762	7,114

##### 3.1.3 하드웨어 비용추정

하드웨어 비용은 개별무장자체는 제외하고 성능향상에 불가결한 요소만을 포함한다. 상세 내역은 다음 표8과 같다.

Table 8 하드웨어 비용 추정

Hardware Item	생산단가 USSK	총생산비 블럭 32 USSM	총생산비 블럭 52 USSM	정비비율 블럭 32, 블럭 52 USSM
Upgrade Hardware				
CGAC	117.4	4.2	16.1	1.7
CCIU	117.4	4.2	16.1	1.7
CDEEU	117.4	4.2	16.1	1.7
CMFD	157.7	5.7	21.6	14.9
CPDG	117.4	4.2	16.1	4.3
JHMCS	195.3	7	26.8	17.6
HTS	70	2.5	9.6	3
Enabling Hardware				
Link 16	750	27	102.8	N/A
Radar	1,500	54	N/A	N/A
AIFF	400	14.4	N/A	N/A
EGI	83.8	3	11.5	N/A
Enhanced 1553	10	0.4	1.4	N/A

##### 3.1.4 비행시험 비용추정

비행시험비용추정근거는 Galorath사의 과거 비행시험 프로그램 경험과 비용추정 데이터베이스로부터 도출되어 진다.

Table 9 비행시험 비용 추정

블록 및 전략	하드웨어비용 USSK	운영비용 USSK	비용합계 USSK
블록 32 전략 1	4,498	1,557	6,055
블록 32 전략 2	7,220	2,896	10,116
블록 52 전략 1	698	1,557	2,255
블록 52 전략 2	3,420	2,896	6,316

비행시험 비용 추정내용중에 항공기의 운용비용과 요원 인건비가 비행시험비용 중에 가장 큰 비용요인이다.(표9)

### 3.2 전략별 비용요약

#### 3.2.1 전략1

전략1의 비용은 다음 표10과 같다.

Table 10 전략1 비용추정

Configuration	SW 개발비 USSM	HW 생산비 USSM	시스템 레벨비 USSM	비행 시험비	SW 정비비 USSM	HW 정비비 USSM	총비용 USSM
블록 32	6.9	81.0	11.6	6.1	22.3	3.3	131.1
블록 52	6.2	47.8	3.8	2.3	21.1	16.3	97.5

#### 3.2.2 전략2

전략2의 비용은 다음 표11과 같다.

Table 11 전략2 비용추정

Configuration	SW 개발비 USSM	HW 생산비 USSM	시스템 레벨비 USSM	비행 시험비	SW 정비비 USSM	HW 정비비 USSM	총비용 USSM
블록 32	9.1	130.9	16.3	10.1	35.2	9.3	211.1
블록 52	8.4	237.9	7.1	6.3	34.2	35.5	329.4

#### 3.2.3 전략3

한국 공군에 미 공군의 CCIP 전략을 적용하려면 연간 최소5대씩 총000대의 블록52 작업에 총00년이 소요되며 해외로 운반기간만 대당9-12개월의 운항중단이 소요된다. 또한 블록32에는 적용이 불가능하다. 이러한 이유로 전략 3은 수용하기 어려울 것이므로 최종분석에서 제외시켰다.(Lockheed Martin은 비용이 약 12.8억 달러 이상 될 것이라고 말했다.)

## 4. 결론

전략1은 최소 비용으로 성능향상을 할 수 있지만 향후 기술 향상에 현저한 제약을 받는다. 링크 16이 없는 본 전략은 현대전장에서 생존 가능한 각각의 솔루션을 제공할 수 없다. 전략1은 추천 전략이 아니다.

전략2 성능향상 총 비용은 블록32가 211백만\$, 블록52가 329백만\$로 총 540백만\$이 소요된다. 본 비용추정결과는 반복적인 하드웨어 생산비가 결정적 요소로 나타났다. 프로그램 일정면에서는 소프트웨어 개발일정이 결정적 요소로 나타났다. 이는 다

시 비용에 큰 영향을 주고 있다. 전반적인 성능향상을 포함한 전략2를 추천하고자 한다

전략3은 기본적으로 CCIP를 블록52에 구현하는 데는 장기간의 소요기간과 전력공백, 비용등 적용상에 제약이 발생하며 블록32에는 적용불가하다. 따라서 한국공군에 수용가능한 전략이라고 생각되지 않는다

향후 성공적으로 F-16 성능향상사업을 완수하기 위해서는 상기 전략의 선택과 아울러 사전에 <획득 및 통합 사업계획모델>작성이 선행되어야 한다. 그 구체적인 내용으로는 비용추정, 합리적인 일정계획, 리스크의 정량화, 대안전략의 질층 분석, 개발 성능 평가, ETC (Estimate to Complete) 예산 요구사항 수립, 사업 기간 내내 지속적 예산 평가, 프로세스의 효과적 모니터링 및 위험점점 확인, 쟁점발생시 최적의 대안전략을 효과적으로 확인 및 선택하는데 사업계획모델이 사용될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 '2005년 국방부 정책연구용역과제'의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 민성기&권용수, "시스템엔지니어링 실무", 시스템체계공학원, 2003.
2. 민성기&권용수, "시스템엔지니어링 원론1", 시스템체계공학원, 2004.
3. Aerospace Report #ATR-2004(8311)-1, "Software Cost and Productivity Model", 2004.2.10
4. Over, Steve, "ROKAF F-16 Fleet Modernization Follow-up" (presentation), Lockheed Martin Corporation, 2004.8.16
5. SEER-H USER'S MANUAL, Galorath, 2001.
6. SEER-SEM USER'S MANUAL, Galorath, 2001.