

제트 전투기의 항공전자 시스템 아키텍처에 관한 연구

권병국^{1,†} · 손일원²

¹세한대학교 항공정비학과

²한국항공대학교 대학원 항공교통물류학과

A Study on the Architecture for Avionics System of Jet Fighters

Kwon Byeong Gook^{1,†}, Son Il Won²

¹Sehan University, Dept. of Aircraft Maintenance Engineering

²Korea Aerospace University Graduate, Dept. of Air Transport & Logistics

Abstract

The development trend of jet fighter's avionics system architecture is the digitization of subsystem component functions, increased RF sensor sharing, fiber optic channel networks, and modularized integrated structures. The avionics system architecture of the fifth generation jet fighters (F-22, F-35) has evolved into an integrated modular avionics system based on computing function integration and RF integrated sensor systems. The integrated modular avionics system of jet fighters should provide improved combat power, fault tolerance, and ease of jet fighter control. To this aim, this paper presents the direction and requirements of the next-generation jet fighter's avionics system architecture through analysis of the fifth generation jet fighter's avionics system architecture. The core challenge of the integrated modularized avionic system architecture requirements for next-generation fighters is to build a platform that integrates major components and sensors into aircraft. In other words, the architecture of the next-generation fighters is standardization of systems, sensor integration of each subsystem through open interfaces, integration of functional elements, network integration, and integration of pilots and fighters to improve their ability to respond and control.

초 록

제트 전투기의 항공전자 시스템 아키텍처 개발 경향은 서브 시스템 구성요소 기능의 디지털화, RF 센서 공유의 증가, 광섬유 채널 네트워크, 그리고 모듈화된 통합 구조이다. 5세대 제트 전투기(F-22, F-35)의 항공전자 시스템 아키텍처는 컴퓨팅 기능 통합과 RF 통합 센서 시스템 기반인 통합 모듈형 항공전자 시스템으로 발전했다. 제트 전투기의 통합 항공전자 시스템은 전투기의 전투력 향상, 내결함성 및 제어 용이성을 제공해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 5세대 제트 전투기의 항공전자 시스템 아키텍처 분석을 통해 차세대 제트 전투기의 항공전자 시스템 아키텍처의 방향과 요구사항을 제시한다. 차세대 통합 모듈형 항공전자 시스템 아키텍처 요구사항들의 핵심 과제는 주요 구성 장치와 센서들을 항공기에 통합하는 플랫폼을 구축하는 것이라 할 수 있다. 즉, 차세대 전투기의 아키텍처는 시스템의 표준화와 개방형 인터페이스를 통한 각 서브 시스템의 센서통합, 기능요소 통합, 네트워크 통합이며 조종사와 전투기의 일체화로 고자율적 대응 및 제어능력 향상에 있다.

Key Words : Avionics System(항공전자), Avionics System(항공전자 시스템), Avionics System Architecture(항공전자 시스템 아키텍처), IMA(통합 모듈형 항공전자), jet fighters(제트 전투기)

1. 서 론

Received: Aug. 05, 2021 Revised: Dec. 14, 2021 Accepted: Dec. 16, 2021

† Corresponding Author

Tel: *** - ***** - ***** E-mail: airelec@sehan.ac.kr

© Sehan University, Dept. of Aircraft Maintenance Eng.

4차산업 기술혁명 시대의 전장 환경이 변하면서 전투기에 대한 임무 수요가 다양해지고 더 복잡한 항공

전자 기술이 적용되고 있다. 그 결과 항공기 성능을 좌우할 정도로 항공전자 시스템의 영향이 나날이 증가하고 있다. 전투기 항공전자 시스템은 일반적으로 통신장비, 항법장비, 피아식별(IFF; Identification Friend or Foe) 장비, 레이더(Radar), 전자전(EW; Electronic Warfare) 장비, 무장관리 시스템(SMS; Stores Management System), 조종 제어 및 표시장치(C&D; Controls and Displays), 비행체 통합관리 시스템(VMS; Vehicle Management System) 등 주요 모듈로 구성된다[1]. 현대 전투기 항공전자 시스템은 통합 모듈형 항공전자(IMA; Integrated Modular Avionics) 구조이다. 각 모듈 장비는 기능 유닛(unit) 당 필요한 기능을 갖춘 부대정비 교환품목(LRU; Line Replaceable Units)의 집합체이다. 통합 모듈형 항공전자(IMA) 구조는 각 모듈을 고속 네트워크로 통합한다.

본 논문은 제트 전투기 항공전자 시스템의 구성과 시대별 발전 추세를 검토하고, 통합 모듈형 항공전자 시스템(IMA) 개념을 정리하고 5세대 전투기 중 통합 항공전자 실무그룹(JIAWG; Joint Integrated Avionics Working Group)의 페이브 필라(Pave Pilla) IMA 구조를 적용한 F-22 전투기와 통합 타격 전투기단(JSF; Joint Strike Fighter)의 페이브 페이스(Pave Pace) IMA 구조를 적용한 F-35 전투기의 항공전자 시스템 아키텍처에 대하여 분석한다. 아울러 본 논문에서는 5세대 제트 전투기 항공전자 시스템의 아키텍처 및 시스템 구성 분석을 통해 차세대 제트 전투기 항공전자 시스템의 아키텍처 방향성 도출 및 요구사항을 제시한다.

2. 제트 전투기 항공전자 시스템의 구성

제트 전투기 항공전자 시스템은 전자기술로 운영되는 항공기에 탑재되는 부품과 세부 시스템을 총칭하는 용어이다. 일반적으로 전투기 항공전자 장비는 통신장비, 항법장비, 피아식별(IFF) 장비, 레이더, 전자전(EW) 장비, 무장관리 시스템(SMS), 조종석 제어 및 표시장치(C&D), 비행체 통합관리 시스템(VMS) 등이다. 전투기 항공전자 시스템은 Fig. 1과 같이 상세한 임무를 수행하는 기능 유닛별 서브 시스템으로 구성된

다[1]. 전투기 항공전자 장비는 레이더가 획득한 목표 정보(방위, 고도, 거리, 움직임 방향 등), 관성 항법 장비가 측정한 항법 제원(항공기 자세, 항로, 대기 속도 등), 대기 데이터 컴퓨터가 탐지한 탄도 계산에 필요한 제원(대기 밀도, 온도, 기압고도 등)을 중앙 디지털 컴퓨터에 입력한다. 그런 다음 중앙 컴퓨터는 목표대상의 미래 위치와 무장 발사에 필요한 계산을 수행하고 레이더 스코프(scope)와 헤드업 디스플레이(HUD; Head-Up Display)를 통해 조종사에게 표시한다.

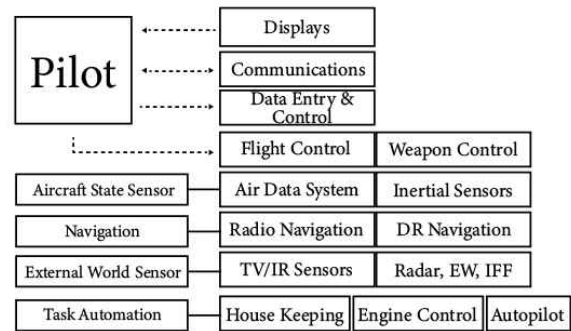


Fig. 1 Avionics System Configuration^[1]

조종사는 목표 거리 및 상황에 따라 무장 제어반(panel), 스티어링 휠(steering wheel) 또는 스로틀 스위치(throttle switch)로 사용할 무장을 선택하고 레이더 스코프(scope)와 HUD에서 목표물이 범위 내에 있을 때 발사 버튼을 누른다. 지상 공격과 공중전에서 상대의 역습이 미치지 못하는 먼 거리에서 표적에 대한 공격이 이뤄지는 것이 이상적이기 때문에, 이를 목표로 전투기의 항공전자 시스템은 개발되어왔다.

3. 항공전자 시스템의 발전

항공전자 시스템은 Fig. 2와 같이 시대별 이용 가능한 전자기술 수준에 따라 분산형 시스템에서 통합 모듈형 시스템으로 발전해 왔다. 항공전자 시스템의 역사적 발전은 1940년대 ~ 1960년대: 분산형 아날로그 시스템, 1970년대: 디지털 컴퓨팅 기술이 적용된 분산형 디지털 시스템, 1980년대: 양방향 데이터 버스 MIL-STD-1553B의 개발로 인한 연방형(federated) 시스템, 1990년대: 항공전자 전이중 스위치 이더넷

(AFDX; Avionics Full Duplex Switched Ethernet)을 이용한 통합 모듈형 항공전자(IMA) 시스템, 2000년대 중반 이후 : 향상된(Advanced) 통합 모듈형 항공전자(IMA) 시스템과 같은 과정으로 발전했다[2].

1940년대부터 1960년대까지 분산형 아날로그 시스템의 주요 유닛은 유선 연결을 통해 상호 연결되며 데이터 버스는 사용되지 않는다. 이로 인해 대량의 항공기 배선이 발생하며 변경이 필요한 경우 시스템을 수정하기가 매우 어렵다.

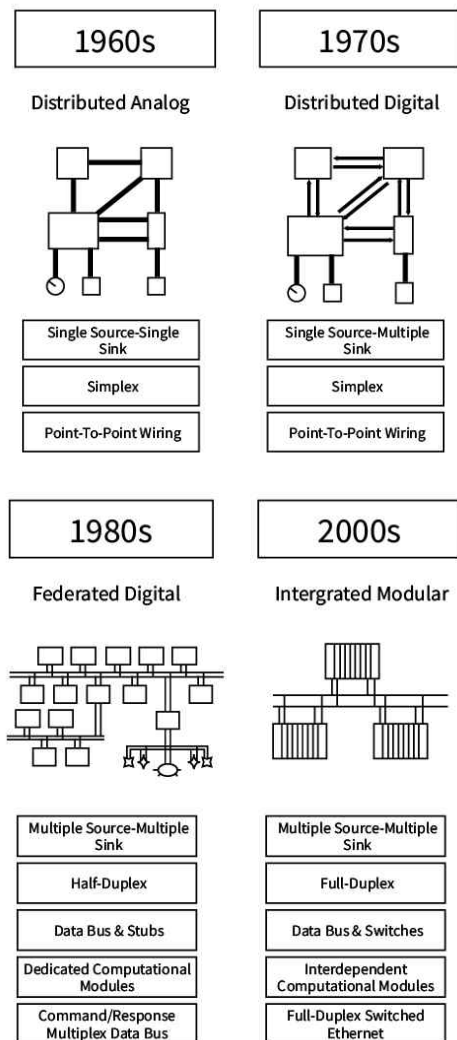


Fig. 2 Avionics System Evolution

직렬 디지털 데이터 버스의 개발은 주요 시스템 장치 간의 데이터 전송과 연결을 촉진했다. 디지털 처리의 출현에 수반되는 중요한 발전은 직렬 반이중(일방

향) 디지털 데이터 버스 1)ARINC 429(민간 항공기)와 토네이도(Tornado) 직렬 데이터 링크(영국군)의 채택으로, 중요한 시스템 데이터를 항공기의 주요 처리 센터 간에 디지털 형태로 전달할 수 있게 되었다. 이어서 양방향 데이터 버스 MIL-STD-1553B의 개발로 1980년대에 연방형 시스템이 등장할 수 있었다. 연방형 디지털 시스템은 일반적으로 전용 1553B 인터페이스를 갖춘 부대정비 교환품목(LRU)와 서브 시스템으로 구축된다. 민간 항공기는 연방형 디지털 시스템의 적용에 별 반응을 보이지 않았으며, 1553B 인터페이스를 사용하는 대신 ARINC 429를 진화시킨 새로운 민간 표준 ARINC 629를 도입했다. F-16 전투기에 처음으로 연방형 디지털 시스템이 적용되었으며, F-15와 유로파이터 전투기의 항공전자 시스템도 이러한 연방형 아키텍처를 채택하고 있다. 1990년대 초, 냉전이 종식되면서 세계 군사산업과 미국의 방위력 획득 정책에 큰 변화가 있었다. 국방비 절감으로 군수분야 시장은 자생력을 상실했고, 민군 모두 지원할 수 있는 기술이 필요했다. 이로 인해 전이중 스위치 이더넷(AFDX)을 사용하는 IMA 시스템이 개발되었다. 이와 같은 국방 항공산업계의 상용화 압력은 항공전자 시스템의 통합 모듈화에 영향을 미치게 되었다[2].

IMA는 주 항공기 시스템과 통합 계산 자원 사이에 데이터 버스 연결을 제공하기 위해 개방형 표준과 강력한 상업적 기술을 활용한다. 미 공군의 JIAWG는 IMA 규격을 만들기 위해 디지털 항공전자의 모듈화, 개방화, 내결함성 및 유연한 구조를 목표로 한다. 2000년대 중반부터 5세대 전투기를 위한 향상된(advanced) IMA 시스템으로 진화했고, 이 시스템은 F-22 랩터(Raptor) 전투기에 적용되었다. 이후 전투기의 IMA는 항공전자 시스템에서 차지하는 비중이 큰 아날로그 센서 영역에 디지털 통합 개념을 적용하여왔다. 전투기의 주요 부분을 통합한 JSF(Joint Strike Fighter) 프로그램은 페이브 페이스(Pave Pace) 아키텍처를 구현하고 F-35 항공기 개발에 적용한다. 기본적으로 페이브 필라(Pave Pilla) 아키텍처와 동일한 통합 개념이지만, 특히 RF 기능이 통합되어 있는 것이 특징이다.

4. 통합 모듈형 항공전자 시스템

항공 기술의 역사는 항공기의 비용, 성능, 크기 및 무게를 개선하기 위해 기존의 기계 및 유압 제어에서 항공 임베디드(embedded) 시스템을 사용하는 전자 제어로 발전했다. 또한, 항공 임베디드 시스템은 각 장치의 부대정비 교환품목(LRU)를 연결하는 연방형 구조에서 표준 모듈을 구축하여 필요한 기능을 로드(load)하고 고속 네트워크로 연결하는 통합 모듈 구조로 발전했다. 항공기의 종류와 성능 목적에 따라 각 장비 기능별로 LRU를 구축하고 연결하는 연방형 구조가 사용되었지만, 항공전자 비중이 급격히 늘면서 개발과 유지보수에 어려움을 겪었다. 연방형 시스템의 주요 단점은 전용 LRU를 사용하여 SW, OS 및 PCB와 같은 다른 탑재 장치와 호환되지 않는다는 것이다. 또한, 각 LRU는 서로 다른 장비에 연결되기 때문에 데이터를 전송하기 위해 수백 킬로미터의 배선이 기내에 필요했다. 항공기 정비를 위한 각 LRU 부품은 서로 다른 현장에 보관해야 하며 부품이 중단되거나 개선 요건이 발생할 경우, 변경 비용이 많이 든다. IMA는 이러한 LRU를 사용하는 연방형 시스템에서 문제를 해결하기 위해 등장했다. 다음 Fig. 3은 IMA의 개념을 나타내며, IMA 시스템의 주요 구성 요소는 다음과 같다.

- 캐비닛(cabinet) : 모듈 로드(module load) 및 백 플레인(back plane)에 연결
- 데이터 버스(ARINC 629, ARINC 665)
- 버스에 연결된 센서 및 액추에이터(actuator) 장치
- 버스에 연결된 데이터 세트 장치

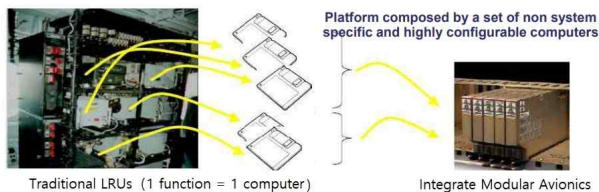


Fig. 3 IMA Concept

IMA 캐비닛(cabinet)은 전원 공급 모듈에 의해 구동되는 백 플레인(back plane)에 LRU가 연결 장착되어 있으며 케이블을 사용하여 캐비닛 간에 데이터를 전송한다. 항공전자 시스템의 IMA 구조의 주요 장점

은 다음과 같다.

- 통합을 통해 크기, 중량 및 전력 소비량 감소
- 모듈 간 케이블 길이 감소
- 하나의 장치에서 여러 레벨의 소프트웨어 실행
- 공통 모듈 적용으로 유지관리 개선
- 항공기 개조 및 기능 개선 용이
- 항공전자 하드웨어 및 소프트웨어 재사용 가능

항공기 임베디드 시스템의 개발은 고장이 발생할 경우, 사고로 생명과 재산의 손실을 초래할 수 있으므로 안전하고 신뢰성이 높은 시스템으로 설계 및 제조되어야 한다. IMA 시스템을 개발하려면 항공 무선 기술위원회(RTCA; Radio Technical Commission for Aeronautics)의 문서(DO; DOcument)인 항공 소프트웨어 인증 규격 DO 178C, 항공 하드웨어 인증 규격 DO 254, IMA 규격 DO 297이 필요하다. 또한, 미국 자동차 공학회(SAE; Society of Automotive Engineers)의 항공우주 권고 실행(ARP; Aerospace Recommended Practice)인 항공 시스템 사양 ARP 4754 및 ARP 4761이 필요하다. 항공기 시스템 개발을 위한 ARP 4754 규격은 ARP 4761 규격의 결합 분석 및 위험 분석 지침을 수행함으로써 신뢰성이 높고 내결함성이 높은 항공기와 안전 인증 항공기를 설계할 수 있다. 그밖에 IMA의 각 모듈 HW, SW, OS 및 네트워크에 대한 상세한 개발 지침은 미국의 항공 정보기술 기업(ARINC; Aeronal Radio, Incorporated) 규격에 정의되어 있다[3-6].

IMA 적용의 주요 세 가지 범주는 Table 1과 같다.

Table 1 IMA Category

구분	IMA 단체(그룹)	항공기 모델
미군용기	JIAWG	F-22
	JAST(JSF)	F-35
유럽군용기	STANAG(4626)	Eurofighter
민간항공기	ARINC(653)	B727,737,747 등 A310,320,330 등 Bell Helicopters, MD-11 등

첫 번째는 주로 미군 항공기에 적용되는 JIAWG (Joint Integrated Aviation Working Group)와 JAST (Joint Advanced Strike Technology) IMA이다. 두 번째는 유럽 군용기에 적용된 연방형 표준화 항공 아

키택처 위원회(ASAAC; Allied Standardized Aviation Architecture Council)가 주도하는 STANAG 4626 IMA가 있다. 마지막으로 주로 민간 항공기에 적용되는 ARINC IMA이다.

5. 5세대 전투기 항공전자 시스템

본 장에서는 5세대 전투기 중 통합 항공전자 실무그룹(JIAWG)의 페이브 필라(Pave Pilla) IMA 구조를 적용한 F-22 전투기와 통합 타격 전투기단(JSF; Joint Strike Fighter)의 페이브 페이스(Pave Pace) IMA 구조를 적용한 F-35 전투기의 항공전자 시스템에 대하여 분석한다.

5.1 F-22 항공전자 시스템

1990년대 초, JIAWG(Joint Integrated Avionics Working Group)는 통합 모듈형 아키텍처를 개발하였다. 이 항공전자 시스템 아키텍처의 통합은 "Pave Pilla"라는 프로그램 하에서 이루어졌다. 미 의회는 JIAWG의 기준을 공군의 F-22 랩터 전투기, 육군의 RA-66 코만치 무장정찰 헬기, 해군의 개량전술기 A-12에 적용하도록 명령했다. 이 프로그램은 특히 레이더, 통신, 항법, 피아식별(IFF), 전자전 장비, 적외선 검색 및 추적 센서, 전자 광학 센서, 대잠수함전 등에서 신호 처리를 적용하는 것을 목표로 했다. 다음 Fig. 4는 JIAWG 아키텍처의 주요 기능을 수용하는 페이브 필라(Pave Pilla) 아키텍처를 나타낸다.

그리고 페이브 필라(Pave Pilla) 아키텍처의 주요 기능 요소는 다음과 같다[2, 7].

- 전자광학(EO), 레이더, 전자전(EW) 장치, 전자지원측정(ESM) 장치, 통신항법식별(CNI) 장치
- 광섬유 교환 네트워크로 센서 데이터 및 비디오 데이터 처리
- 통합형 항공전자 랙(rack) : 신호 및 데이터를 포함하며 스위치 네트워크, 병렬 버스 및 직렬 버스를 사용하여 상호 연결
- 항공기 무기 시스템 관리
- 항공전자 주요 서브 시스템을 통합 캐비닛에 연결하는 고속 데이터 버스(HSDB)

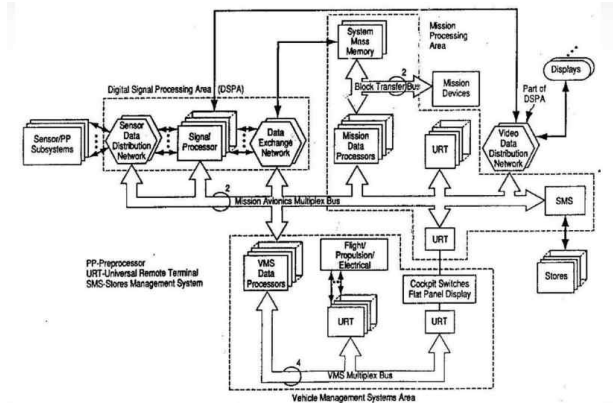


Fig. 4 Pave Pilla Architecture^[2]

JIAWG는 미 공군의 첨단 전술 전투기(ATF; Advanced Tactical Fighter) 사업에서 F-22를 선정하였다. F-22의 항공전자 시스템의 주요 장비는 APG-77 능동 전자주사식 위상배열(AESA; Active Electronically Scanned Array) 레이더, 전자전(EW) 장치, 전자지원측정(ESM) 장치, 전자광학(EO), 통신항법식별(CNI) 장치, 조종석 제어 및 디스플레이(C&D), 비행체 제어 시스템(VMS), 무기관리시스템 등이다. 다음 Fig. 5는 F-22의 항공전자 시스템을 구성하는 주요 장비를 나타낸다.

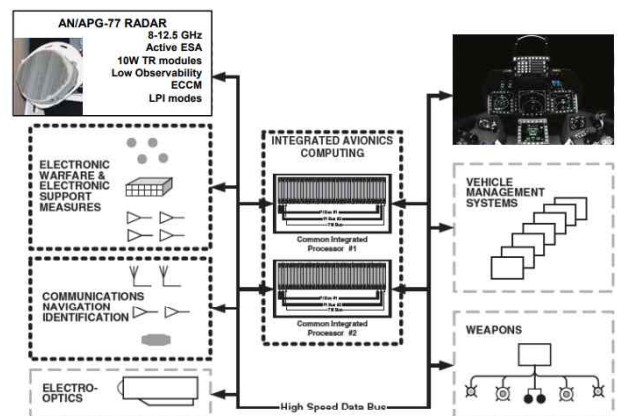


Fig. 5 F-22 avionics system equipments^[2]

F-22 IMA 시스템은 2개의 공통 통합 프로세서(CIP; common integrated processors)를 가지고 있다. 두 개의 공통 통합 프로세서(CIP)는 광섬유 데이

터 버스로 상호 연결되며, 범용 디지털 프로세서 모듈은 모든 항공전자 기능을 분산 병렬로 수행한다. 또한 공통 운영 체제가 모든 핵심 처리 모듈에 장착되어 유연성을 극대화한다. 새로운 응용 프로그램이나 신기술의 응용을 위한 모듈 추가가 수월하고 MIL-STD-1553 버스로 연동 시스템을 지원한다. 센서로부터 수신된 데이터는 전처리 및 디지털화 절차를 거쳐 400Mbps 광신호로 CIP로 전송된다. CIP는 디지털 신호 처리 후 조종석의 계기판으로 전송된다. 두 개의 CIP는 고속 데이터 버스(HSDB) 광전송기에 50Mbps로 연결된다. 통합 메인 프로세서는 두 개의 통합 캐비닛과 하나의 예비 캐비닛이 있다. F/A-22 캐비닛은 최대 66개의 표준 전자 모듈 SEM-E 사이즈 모듈을 수용할 수 있는 공간이 있지만 실제로 CIP1과 CIP2에는 각각 47개와 44개의 모듈만 사용되고 나머지 19/22 모듈은 예비로 둔다. 서버 시스템과 데이터를 교환하는 데 필요한 통신을 달성하기 위해 캐비닛은 다음과 같은 데이터 버스를 사용하여 내부 및 외부 인터페이스를 수행한다.

- 고속 데이터 버스(HSDB) - 캐비닛을 다른 항공기 서브시스템과 연결하는 광섬유 버스
- 랙 내에서 모듈을 상호 연결하는 데 사용되는 이중 병렬 인터페이스 버스
- 진단 테스트 및 유지 관리 버스

F-22의 조종석 디스플레이는 다양한 센서에서 얻은 정보를 결합한 센서 통합 개념으로 개발되었으며, 다양한 물리적 센서용 공동 프로세서를 이용해 센서 처리 장비의 수를 줄였다. 이러한 접근 방식은 여러 개의 동일한 부품 없이 기능적 중복을 통하여 장비 부품의 수를 크게 줄였다.

통합 시스템을 갖춘 F-22 전투기의 항공전자 시스템은 기존의 LRU 대신 소프트웨어 기능을 처리할 수 있는 공통의 프로그램 가능 모듈로 구성되어 있다. 이 시스템은 뛰어난 설계 유연성을 제공할 뿐만 아니라 업무 효율성도 향상시켜 준다. 즉, 견고하고 내결함성 시스템, 재구성 기능, 신뢰성, 지원 가능성, 가용성, 중량, 확장성, 취득 및 유지보수 비용 등 여러 측면에서 우수한 특성을 가지고 있다. F-22 항공전자 시스템은 공통의 모듈형 통합 시스템으로 특징지어지며, 전투기 최초의 통합 시스템이다.

그러나 감지, 통신, 무장 제어, 대응 수단을 위한 장비보다 진보된 새로운 시스템으로 교체할 때 많은 문제가 있었다. 그 중 두 가지 주요 문제는 다음과 같았다. 먼저, 다양한 시스템으로부터 데이터를 받고 우선 순위를 할당하는 문제와 각 시스템에 필요한 제어 명령 데이터를 조종사에게 전달하는 문제였다. 둘째로, 각각 새로운 기능을 수행하는 첨단장비들을 전투기 내 수용할 수 있는 공간이 필요로 했고, 이 첨단장비의 전원공급 및 냉각장치, 그리고 메인 컴퓨터와의 인터페이스도 필요했다. 이 두 번째 이슈는 예비 부품의 확보와 유지에 문제를 야기하여 궁극적으로 부품가격 상승, 유지보수 증가 및 군 지원의 어려움으로 이어졌다.

JIAWG 아키텍처는 항공 표준화를 달성하기 위해 노력했음에도 불구하고 다음과 같은 문제점이 있었다.

- 프로세서 단종으로 인해 프로세서가 i86으로 변경됨(Intel 80960 MX)
- 병렬 인터페이스 버스 백플레인 생산 라인 중단
- 진단 테스트 및 유지관리의 비표준 버스 이용
- 두 개의 CIP를 연결하는 80Mbit/s 고속 데이터 버스(HSDB)에 대한 상업 및 군사 승인 테스트 실패
- 일부 상용 기성품 (COTS; commercial off the shelf)에 SEM-E 모듈 형식이 너무 작음

F-22는 이러한 문제를 고려하여 항공기 레벨 및 주요 서브 시스템 연결에 광섬유 채널(FC)을 사용하여 중단 문제를 해결하고 대역폭을 개선하려고 시도하였다. 즉 고속 데이터 버스(HSDB), 병렬 인터페이스 버스, 진단 테스트 및 유지관리 버스를 광섬유 채널(FC) 버스로 개선하였다[2, 7-8].

5.2 F-35 항공전자 시스템

1993년 말 미 해군의 A-6 공격기를 대체한 A-12 항공기 개발 프로그램과 F-16 전투기를 대체한 공군의 다역전투기 개발 프로그램이 취소됐다. 이러한 프로그램을 대체하기 위해 JAST(Joint Advanced Strike Technology) 프로그램이 시작되었다. 1995년, JAST 프로그램은 미국 해병대와 영국 해군의 사용을 고려하여 차세대 전투기와 공격기의 공동 개발에 중점을 두고 JSF(Joint Strike Fighter) 프로그램으로 이름

이 바뀌었다. 이 프로그램은 "Pave Pace"라는 이름으로 운영되었다. 다음 Fig. 6은 페이브 페이스(Pave Pace) 항공전자 시스템의 아키텍처는 다섯 가지 주요 부분, 통합 코어 처리 시스템, RF 센서장치, 광학(EO) 센서장치, 무장관리 시스템(SMS), 비행체 통합관리 시스템(VMS)을 나타내고 있다[2, 9-10].

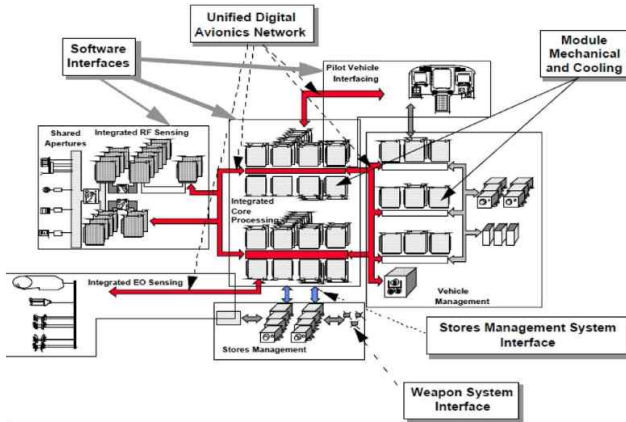


Fig. 6 Pave Pace Architecture^[2]

F-35 항공전자 시스템은 F-22 시스템을 기반으로 하며 향상된 통합, 상용 기성품(COTS) 전자 부품의 활용 및 개방형 아키텍처 채택을 특징으로 한다. 미국 방부는 모든 무기 시스템을 위한 전자장비의 개방시스템 개발을 유도하기 위해 1994년 합동타격전투기단(JSF; Joint Strike Fighter)을 결성했다. JSF는 1990년대에 시작된 "Pave Pace"라는 프로그램을 통해 비용 측면에서 효율적이고 기술적으로 신뢰할 수 있는 항공전자 시스템을 제공하기 위해 개방적인 접근법을 채택한 역대 최대 규모의 군용기 프로젝트이다. JSF는 또한 F-22의 항공전자 시스템을 확장하여 통합 무선 주파수(RF)와 전자광학(EO) 센서 시스템을 채택하였다.

F-35의 항공전자 시스템의 주요 구성 요소는 능동 전자주사식 위상배열(AESA) 레이더, 전자전(EW) 장치, 전자지원추정(ESM) 장치, 전자광학(EO), 통신항법 식별(CNI) 장치, 조종석 제어 및 디스플레이(C&D), 비행체 통합관리 시스템(VMS), 무기, 2개의 공통 통합 프로세서(CIP)이다. 다음 Fig. 7는 F-35의 항공전자 시스템을 구성하는 주요 장비를 나타낸다[2, 9-10].

F-22에 비해 F-35는 레이더+ 전자전, 전자+ 통신,

네비게이션, 피아식별 등 특히 합리적인 기능을 갖추고 있다. 통합 모듈식 항공전자 구조(IMA)에서 비행 제어 시스템은 비행체 통합관리 시스템(VMS)로 진화했다. F-35 항공기의 경우, 전체 서브 시스템은 임무 시스템을 제외하고 VMS에 의해 제어된다.

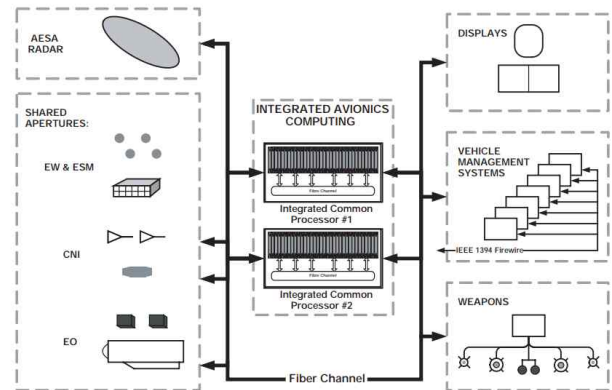


Fig. 7 F-35 avionics system equipments^[2]

VMS는 디지털 전자 비행제어 시스템에서 획득한 경험을 기반으로 개발되었으며, 주요 목적은 모든 서브 시스템(비행 제어, 대기 데이터, 엔진 등)과 유틸리티 서브 시스템(연료, 유압 등)을 기능적으로 통합하는 것이다. 서브 시스템은 고대역폭 광섬유 버스 채널로 연결된다. 센서는 F-35 항공전자 부품 중 큰 비용을 차지하며, 데이터와 신호 처리에는 상대적으로 영향이 적다. 일반적으로 센서는 항공전자 시스템의 비용, 중량, 볼륨 및 전력의 70%를 차지한다. F-35는 다기능 공유 안테나와 RF 신호 공통 핸들러를 사용하는 통합 센서 시스템을 채택하여 비용과 용량을 약 4분의 1로 줄이고 신뢰성을 약 10배 이상 향상하는 것을 목표로 하였다.

통합 RF 시스템은 광섬유 채널 네트워크를 사용하여 높은 수준의 전투기 시스템 통합으로 이득을 얻는다. F-35 전투기의 통합 RF 시스템은 다음과 같은 많은 RF 시스템을 사용한다[2, 9-10].

- 레이더, 전자전(EW) 장치, 피아식별(IFF) 장치
- RF 대역의 레이더 경고 장치
- 항법 지원 장치 : 전술항법장비(TACAN; Tactical Air Navigation), 계기착륙장치(Instrument Landing System), 마이크로파 착륙시스템(Microwave Landing System), 글로벌 항법시스템(GPS)

- 통신 장치 : 초단파(VHF), 극초단파(UHF), 고주파(HF), 위성통신, 합동전술정보배포 시스템(Joint Tactical Information Distribution System), 전술 데이터링크 시스템(Joint Tactical Data Link System)

상기 F-22와 F-35의 항공전자 시스템 아키텍처의 주요 구성요소는 거의 동일하며, F-35 페이브 페이스 아키텍처의 특징은 다음 Table 2에 나타낸 바와 같이 각 시스템의 통합화이다.

Table 2 F-22 & F-35 architecture Components

F-22와 F-35 구성요소	F-35 특징
전자광학(EO)	전자광학 센서시스템
전자전(EW) 장치	-
전자지원측정(ESM) 장치	-
통신항법식별(CNI) 장치	-
무기관리장치	-
조종석 제어 및 디스플레이(C&D) 장치	-
비행체 제어시스템(VMS)	비행체 통합제어시스템
ASEA 레이더	-
항공전자 랙(Rack)	-
고속데이터버스 캐비닛	통합 고속데이터 버스
광섬유 데이터 네트워크	-
공통 통합 프로세서(CIP)	-
RF 센서 시스템	통합 RF 센서 시스템

2005년 이후, 항공전자 시스템의 급속한 비용 증가로 인해, 군용 항공기의 통합 항공전자 아키텍처는 비용의 많은 부분을 차지하는 아날로그 센서 영역에서 디지털 통합의 적용을 극대화했다. F-22 페이브 필라와 F-35 페이브 페이스 아키텍처는 모든 신호 및 데이터 처리 작업에 편리한 랙에 모듈형 LRU의 소규모 제품군을 사용하고, 전자 및 통신과 같은 센서 기능을 유사한 그룹에 통합한 통합형 항공전자 시스템이다.

JIAWG의 F-22 페이브 필라와 JSF의 F-35 페이브 페이스 사이의 특징적인 차이는 다음 두 항목을 비교함으로써 확인할 수 있다.

- 항공전자 컴퓨팅 기능은 고속 광학 채널 버스의 연결을 통해 통합된 항공전자 랙에 있는 여러 프로세

서의 신호 처리 및 데이터 처리 리소스에 집중된다.

- 초고주파 시스템은 안테나와 주파수 변환 모듈을 공유하는 공동 통합 센서 시스템(ISS: Integrate Sensor System)을 사용하여 효율적으로 설계된다.

F-22 페이브 필라 아키텍처를 개발하는 목표 중 하나는 RF의 기능 영역에 초점을 맞추고 수신기, 변조기, 복조기, 증폭기 및 송신기를 위한 합리적인 기능을 추구하는 것이었다. F-22 페이브 필라 아키텍처의 항공전자 통합은 RF 서브 시스템을 기반으로 하여 해결되었고, F-35 페이브 페이스 아키텍처는 통합 RF 센서 시스템을 목표로 하였다. 즉, F-35 페이브 페이스 아키텍처는 F-22 페이브 필라 아키텍처와 본질적으로 동일한 통합 개념이지만, 특히 주된 목적은 통합 센서 시스템(ISS)이라고 불리는 통합 RF 센서 시스템을 만드는 것이었다. 하드웨어적인 관점에서 보면, 많은 레이더, 통신, 전자전 기능이 상실되지만, 이 기능들은 소프트웨어로 구현된다. 페이브 필라 ISS를 비교한 페이브 페이스 통합 RF 시스템은 약 50% 비용 절감, 60% 볼륨 절감, 30% 신뢰성 향상 효과를 가져왔다. F-35 페이브 페이스 아키텍처는 디지털 시스템이 어떻게 통합되는지 보여줄 뿐만 아니라 고도로 통합된 RF 센서 시스템이 실현가능하고 바람직하다는 것을 시사한다.

6. 차세대 전투기 항공전자 시스템 아키텍처

본 장에서는 5세대 제트 전투기(F-22, F-35) 항공전자 시스템의 아키텍처 및 시스템 구성 분석을 바탕으로 차세대 제트 전투기 항공전자 시스템의 아키텍처 구성 방향성 및 요구사항을 제시한다. 먼저 앞장에서 5세대 전투기 항공전자 시스템의 아키텍처 분석을 통해 차세대 제트 전투기 항공전자 시스템 아키텍처의 주요 방향성은 다음과 같이 도출할 수 있다.

- 데이터 버스 전송용량 및 데이터 처리 능력 향상
- 센서와 데이터 통합
- 네트워크 중심의 전자전(EW) 장비
- 스텔스 모드의 통신
- 외부 센서 및 개구부 장치들의 스텔스 RF 기술
- HMI(Human Machine Interface) 기술

- 견고성 및 신뢰성 수준의 향상
- 공력특성 및 조종성 향상을 위한 동적 재구성 능력 향상

F-22와 F-35로 대표되는 스텔스기를 뛰어넘는 차세대 전투기 개발이 가속화하고 있다. 미국은 F-22의 뒤를 이을 차세대 공중지배기(NGAD; Next Generation Air Dominance) 시험비행을 진행했다. F-35가 주축돌로 운영되면서 F-22는 약 2030년부터 단계적으로 폐기될 것으로 보인다. 프랑스, 독일, 스페인은 라팔(Rafale)과 타이푼 (Typhoon)을 대체할 차세대 전투기인 미래전투항공시스템(FCAS; Future Combat Air System) 개발을 추진하고 있다. FCAS는 2027년 비행 시연기를 출고하고 2040년쯤 실전배치가 이뤄질 예정이다. 영국 공군의 주력 전투기인 유로파이터 타이푼(Eurofighter Typhoon)의 후속으로 차세대 전투기 템페스트(Tempest)를 개발하고 있다. 템페스트는 2035년 투입되는 것을 목표로 하고 있다.

상기 5세대 전투기 F-22와 F-35의 아키텍처 및 시스템 구성 분석을 통해 알수 있듯이, 항공전자 개발의 일반적인 경향은 향상된 기능의 디지털화, 공유의 증가, 그리고 모듈화된 기능이다. 항공전자 통합·공유 개념의 확대가 이어지고 하드웨어가 지원하는 한 소프트웨어를 통해 기능성이 높아지고 있다. 차세대 전투기의 주요 능력은 스텔스 기능, 고성능 레이더, 센서 통합 기능, 초음속 고효율 소형 엔진, 인공지능 기술, 무인항공기 원격제어기능, 레이저 무기, 센서 통합 전자전 시스템 등으로 함축된다[11-13].

따라서 5세대 전투기의 항공전자 시스템 분석을 통해 도출한 차세대 전투기 아키텍처의 방향성을 고려한 주요 구성장치의 요구사항을 다음과 같이 제시할 수 있으며, 이를 Table 3에 간략히 나타낸다.

[차세대 전투기 아키텍처 요구사항]

- 전자전(EW) 장치 및 통신항법식별(CNI) 장치의 기능 구성 요소를 통합하는 기술이 요구된다.
- 무장관리장치 : 다중 센서 및 스마트 무장 등의 융합을 위한 미션 및 무장 관리 소프트웨어 기술이 요구된다. 또한 무장 유형에 따라 동적 상황에 대한 자율

Table 3 Architecture Requirements

구성요소	요구사항
전자전 장치	전자전(EW), 통신항법식별(CNI)
통신항법식별 장치	기능요소 통합
무장관리장치	다중 센서 및 스마트 무장의 융합
조종석 제어 및 디스플레이 장치	3D 합성영상 및 음성인식에 의한 조종사와 전투기의 일체화 통합 동적 상황에 대한 고자율적 대응 기술
비행체 통합관리 시스템	비행체 시스템 컴퓨터(VSC) 및 서버 시스템의 통합 인터페이스 표준 HMI 및 개방형 인터페이스
레이더	뛰어난 스텔스 기능과 향상된 RF 방사선 제어 능력
네트워크	신뢰성, 유지보수 및 지원성 해결을 위한 이중화 구조 백본(backbone) 네트워크 영향 최소화 Gbps 통신 네트워크에 의한 시스템 통합
통합RF 센서 시스템	고성능 복합 신호 서비스, 높은 대역폭

적 대응을 위한 개방형 무장 인터페이스가 요구된다.

- 조종석 제어 및 디스플레이 장치 : 3D 합성영상 디스플레이, 음성인식에 의한 조종사와 전투기의 일체화 통합 및 동적 상황에 대한 고자율적 대응 향상이 요구된다.

- 비행체 통합관리 시스템 : 여기에는 환경 제어 시스템, 연료 시스템, 유압 시스템, 착륙장치, 전력 시스템, 보조 전원 장치, 방화 시스템, 빙판 보호 시스템, 조명 시스템, 승무원 탈출 시스템, 공압 시스템, 생명 유지 시스템 등이 포함된다. 이러한 시스템은 비행체 시스템 컴퓨터(VSC; Vehicle System Computer) 및 서버 시스템과 다양한 인터페이스가 요구된다.

- 레이더 : 뛰어난 스텔스 기능과 향상된 RF 방사선 제어 능력을 갖춘 레이더 기술이 요구된다.

- 네트워크 : 표준 HMI(Human Machine Interface)를 통한 개방형 시스템과 백본(backbone) 네트워크 영향 최소화 및 Gbps 통신 네트워크에 의한 시스템 통합이 요구된다. 또한 신뢰성, 유지보수 및 지원성(RM&S; Reliability, Maintainability & Supportability) 해결을 위한 이중화 구조가 요구되며 초기동 임무 데이터의 중앙 집중화로 인한 증가된 부하(load)를 분산하는 스마트 제어가 요구된다.

- 통합RF 센서 시스템 : 센서의 정보를 집약적으로

처리하는 고성능 복합 신호 서비스가 필요하며 비디오와 오디오 컴퓨팅 간 데이터를 더 많이 전송하려면 높은 대역폭이 필요하다. 그리고 차세대 항공전자 시스템의 방향성을 고려한 서브 시스템 구성의 예를 다음 Fig. 8에 나타낸다.

6장에서 언급한 차세대 제트 전투기의 항공전자 시스템 아키텍처 방향과 주요 요구사항은 전투력 향상, 내결함성 및 전투기의 제어 용이성을 제공하는 통합 모듈화 항공전자(IMA) 시스템에 매우 필수적인 요소라 할 수 있으며, 차세대 통합 모듈화 항공전자(IMA)

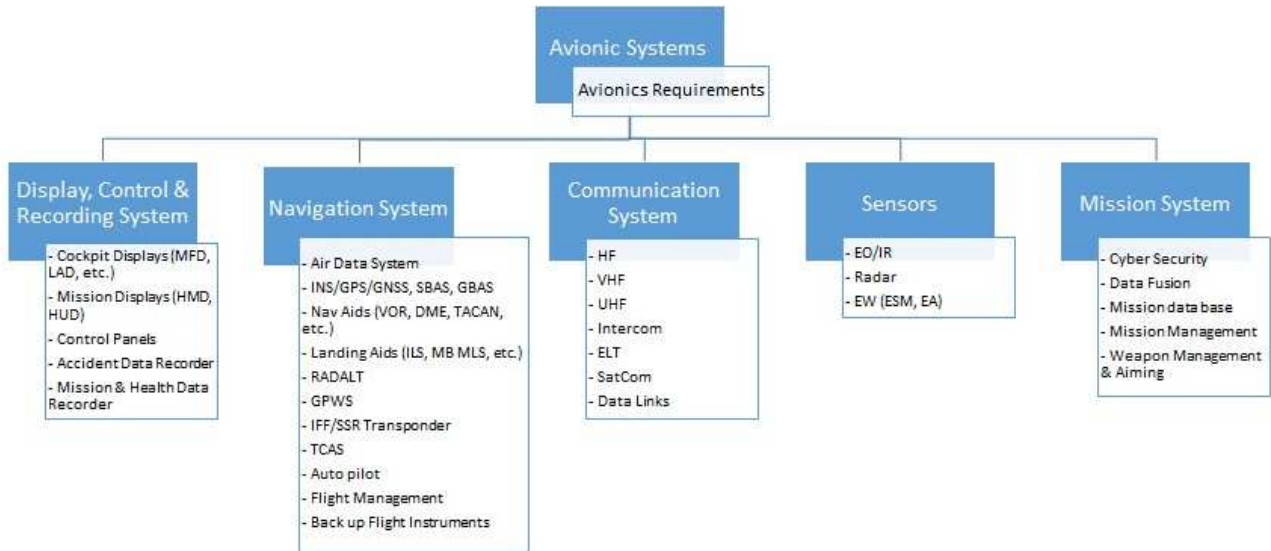


Fig. 8 Example of Future Fighter Avionics Components^[11]

7. 결 론

제트 전투기의 항공전자 시스템은 본질적으로 향상된 전투 가능성, 내결함성, 신뢰성, 유지관리성, 지원성, 비행 제어 용이성 등을 제공해야 한다. 조종사가 극히 제한된 시간 내에 정확한 상황 판단을 하고 적절한 조치를 신속하고 효율적으로 수행할 수 있는 환경을 제공하기 위한 통합 모듈화 항공전자(IMA) 시스템이 필요하다.

본 논문의 5장에서 F-22와 F-35 제트 전투기 항공전자 시스템 아키텍처 분석을 통해 알 수 있듯이, 항공전자 시스템의 개발 추세는 항공전자 컴퓨팅 기능의 통합과 RF 통합 센서 시스템 전환을 통해 통합 모듈형 항공전자 시스템으로 진화했다. 통합 항공전자 시스템에 대한 수요는 엄청난 비용 절감에서 시작되었으며, 현대 항공전자 시스템은 RF 센서의 통합 모듈형 아키텍처라 할 수 있다.

시스템 아키텍처 요구사항들의 핵심 과제는 주요 구성 장치와 센서들을 항공기에 통합하는 플랫폼을 구축하는 것이라 할 수 있다. 즉, 본 논문의 6장에서 제시한 바와 같이 차세대 전투기의 아키텍처는 시스템의 표준화와 개방형 인터페이스를 통한 각 서브 시스템의 센서통합, 기능요소 통합, 네트워크 통합이며 조종사와 전투기의 일체화로 고자율적 대응 및 제어능력 향상에 있다.

References

[1] Sung Woo Kim, Jae Ick Sim, Wang Gug Lee, Woo Jin Lee, Dae Yeon Won, "A Study on the Trend of an Avionics System Architecture Development for UAV", *Journal of the KIMST*, Vol. 17, No. 4, pp. 436-447, 2014

[2] Ian Moir, Allan Seabridge, "Military Avionics Systems", Wiley, 2006

-
- [3] RTCA DO-297, “Integrated Modular Avionics (IMA) Document Guidance and Certification”
- [4] ARINC Report 651-1 Design Guidance for Integrated Modular Avionics, 1997
- [5] Military Agency for Standardization (MAS), “STANAG4626 Modular and Open Avionics Architectures,” NATO, 2004
- [6] Jong Hwa Na, Sang Woo Yang, Gyu Taek Lee, “Integrated Modular Avionics(IMA) Technical Trend”, *The Magazine of IEIE*, pp. 36-46, Sept. 2014
- [7] Ronald W. Brower, “The Avionics Handbook”, Ch. 32 Lockheed F-22 Raptor, Edited by CARY R. SPITZER, CRC Press, 2001
- [8] “Five Generations Of Jet Fighter Aircraft,” Air Power Development Center Bulletin, Air Power Development Center, Jan. 2012
- [9] Greg Lemons, Karen Carrington, Dr. Thomas Frey, and John Ledyard, “F-35 Mission Systems Design, Development, and Verification” AIAA AVIATION Forum, Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2018
- [10] F-35 Joint Strike Fighter (JSF) Program, Congressional Research Service, May, 2020
- [11] Zeynep Seda Mor, Naveed Asghar, Gokhan Inalhan, “Avionics Architecture Design for a Future Generation Fighter Aircraft”, 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference, Sept. 2019
- [12] Hong Seung-Beom, Jie Min-Seok, Hong Gyo-Young, Kim Young-In, “A Study on Fiber Optic's Data Bus for Avionics Integrated Architecture”, *The Korea Contents Association*, pp. 642-647, 2009
- [13] Chan Ho Song, Trends in Avionics Technology, *IT SoC Magazine*, pp. 24-31, March 2009