

# 항공기내 무선통신 연구 동향 및 군통신에의 응용

방인규, 박관근\*, 반태원\*\*, 정방철\*, 장우혁\*\*\*, 전상운\*\*\*\*, 성단근  
 한국과학기술원, 충남대학교\*, 경상대학교\*\*, 국방과학연구소\*\*\*, 안동대학교\*\*\*\*

## 요약

본고에서는 차세대 항공시스템의 핵심요소 중 하나인 항공기내 무선통신 (WAIC: Wireless Avionics Intra-Communication) 시스템의 연구동향과 이를 군용기내 무선통신 시스템에서 응용하는 방안에 대해 알아본다. 먼저 항공기내 유선 통신네트워크 기술 동향을 살펴본 뒤, 항공기내 무선통신 시스템에 사용할 수 있는 무선 표준 기술로써 IEEE 802.11, Bluetooth, IEEE 802.15.4 등의 무선통신 기술을 소개한다. 이후 현재 논의되고 있는 항공기내 무선통신 시스템을 위한 주파수 대역과 트래픽 모델을 소개한다. 또한 현재 논의되고 있는 항공기내 무선통신 시스템을 군용으로 응용할 때 고려해야 하는 점을 소개한다.

## I. 서론

항공기내 무선통신 (WAIC: Wireless Avionics Intra-Communication)은 미래 항공전자 패러다임을 구성하게 될 핵심 키워드 중 하나이다. 항공 산업은 기존 아날로그 방식에서 디지털 방식으로의 패러다임 전환과 더불어, 최신 정보통신 기술과 융합을 통해 보다 정확하고 안전하며 효율적인 항공교통 시스템의 구축을 목표로 하고 있다. 특히 항공기내 전자장비 사이에 유선 네트워크를 대체하여 무선 네트워크 기술을 적용할 경우, 항공기 무게 및 유지비용 절감, 안전성과 신뢰성 증대, 항공기 제작 및 설계의 복잡도 개선 등의 효과를 기대 할 수 있다.

항공기내 무선통신 시스템은 전송률, 신뢰도, 지연, 통신거리, 항공기 규모 등과 같은 다양한 요구 사항을 고려하여 설계해야 한다. 특히 항공기내 제어 및 탐지 시스템의 안전성을 보장하기 위해서 항공기내 무선통신 네트워크는 다음의 세가지 특성을 지녀야 한다.

- 네트워크 문제 발생 시에도 일정 성능을 보장할 수 있는 **강인성 (Robustness)**

- 어떠한 상황에서도 데이터를 전송하는 **신뢰성 (Reliability)**
  - 항공기내 무선 네트워크 문제 발생 시 이를 조기에 탐지하여 네트워크의 성능을 복구할 수 있는 **복원성 (Resilience)**
- 또한 항공기내 무선통신 네트워크의 내장형 (Embedded) 시스템 구현을 위해서는 계산 복잡도가 낮은 간단한 알고리즘과 프로토콜이 필요하다.

항공기내 무선통신 시스템에 대한 연구는 주로 항공 산업 선진국을 중심으로 진행되어 왔다. 미국의 Boeing은 2008년부터 미국 국립과학재단(NSF; National Science Foundation)과 함께 사이버물리시스템 (CPS; Cyber Physical Systems)<sup>1)</sup>의 일환으로 기내 무선통신 시스템을 연구하기 시작하였다[1]. 학계는 항공기의 안전과 직결되지 않는 정보 수집에 무선 센서 네트워크를 활용하는 연구에서부터 항공기내 무선통신 시스템의 안정성과 신뢰성 분석 등의 다양한 연구를 진행하였다[2]-[5]. 최근 국내에서도 항공기내 무선통신과 관련하여 시스템 구조에 관한 동향 조사 및 후보 주파수 대역에서의 링크 버짓 (Link Budget) 분석 등의 연구들이 진행되고 있다[7].

최근 항공기내 무선통신과 관련하여 기초연구뿐만 아니라 표준화에서도 다양한 움직임이 포착되고 있다. 항공기내 무선통신망 표준화는 항공우주시스템 연구소 (ASVI; Aerospace Vehicle Systems Institute)를 중심으로 NASA, FAA, Boeing, Lockheed Martin, Airbus등의 다양한 미국과 유럽의 정부 기관 및 항공 산업체에서 참여하고 있다. 또한 항공우주시스템 연구소는 국제전기통신연합 (ITU)과 국제민간항공기구 (ICAO)와 협력하여 각 프로젝트를 국제 표준화로 채택하기 위한 작업을 진행하고 있다.

현재까지 국제전기통신연합은 항공우주시스템연구소 및 항공국제민간항공기구와 협력하여 항공기내 무선통신 시스템과 관련한 다양한 기술 문서를 작성하였다.

1 CPS는 다양한 내장형 센서 장치가 물리적 세상을 관찰하고 이 정보를 바탕으로 최적의 제어 신호를 생성하여 직접 물리적 세상을 통제하는 시스템을 의미한다. 국가의 중대한 인프라인 교통, 전력망, 의료, 국방 등의 다양한 분야에 적용될 수 있는 기술이다

표 1. 항공기내 유선 네트워크 기술 요약

특징/종류	MIL-STD-1553B	ARINC 429	AFDX
Data Rate	1Mbps	100kbps	1Mbps
Duplex	Half-Duplex	Simplex	Full-Duplex
Topology	Bus	Bus	Star
Medium	Shared	Dedicated	Shared
Bandwidth	45,455 words/sec	2,778 words/sec	148,809 frames/sec
Latency	Variable	Fixed	Bounded
Number of Terminals	31	20	1024
Media Access	Centralized	None	None
Maximum Frame Length	20 bits	32 bits	1518 bytes
Encoding	Manchester II Bi-Phase	Bipolar Return to Zero	PAM 5×5

이 중 핵심이 되는 주요 문서는 M.2197, M.2319, M.2283이다[9][10][11]. 문서 M.2197은 항공기내 무선통신 시스템의 기술적인 특성과 사용 목적에 관한 정보를 제공한다[9]. 이 문서는 항공기내 무선통신 시스템을 사용할 수 있는 민간 항공기내 다양한 응용 서비스를 노드의 위치 및 트래픽에 따라 분류하고 있다. 문서 M.2283은 세계전파회의의 요청에 따라 항공기내 무선통신 시스템의 기술적 특성과 주파수 대역의 요구 사항에 대한 정보를 제공한다[10]. 이 문서는 항공기내 다양한 응용 시스템의 트래픽 요구 사항 및 이에 따른 주파수 대역의 요구 사항을 분석한다. 문서 M.2319는 항공기 전파 통신 서비스내 무선 통신망과 기존의 시스템 사이의 간접 현상 및 주파수 적합성에 관한 연구 결과를 제시한다[11]. 이 문서는 사용 가능한 주파수 대역에서 실험을 통하여 간섭 현상을 분석한 결과, 기존의 전파고도계 용도로 사용하던 4,200~4,400MHz가 항공기내 무선통신 시스템에 가장 적합하다는 결과를 제시하고 있다. 실제로 국제민간항공기구는 2009년 11월 태국에서 개최된 항공통신패널(ACP: Aeronautical Communication Panel) 회의에서 기존의 전파고도계 용도로 사용하던 4,200~4,400MHz를 항공기내 무선통신 시스템 전용 대역으로 지정하였다. 이와 같이 항공기내 무선통신 시스템에 대한 관심은 기초연구뿐만 아니라 실제 표준화 단계까지 확장되어있는 상태이다. 더욱이 항공기내 무선통신 시스템은 민간항공기뿐만 아니라 군용항공기에도 응용이 가능하기 때문에 관련 기술 및 연구 동향에 대한 조사가 필요한 상황이다.

본고에서는 항공기내 무선통신 시스템의 연구동향과 이를 군용기내 무선통신 시스템에서 응용하는 방안에 대해 살펴보고자 한다. 본고의 II장에서는 먼저 항공기내 유선 통신네트워크 기술 동향을 살펴본다. III장에서는 항공기내 무선통신 시스템에 사용할 수 있는 후보 기술을 소개한다. IV장에는 항공기내 무선통신

시스템을 위한 주파수 현황과 트래픽 모델 등을 살펴본다. V장에서는 항공기내 무선통신 시스템을 군용으로 활용하는 것에 대해 살펴본다. 마지막으로 VI장에서는 본고의 결론을 맺는다.

## II. 항공기내 유선 네트워크 기술 현황

본 장에서는 항공기내 유선 네트워크의 기술인 MIL-STD-1553B와 ARINC (Aeronautical Radio, Incorporated) 429 그리고 AFDX (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet)에 대한 내용을 소개한다. <표 1>은 각 기술의 특징을 간략히 정리한 것이다.

### 1. MIL-STD-1553B [12][13]

MIL-STD-1553B는 미국의 해군 및 공군에서 사용하는 데이터 버스의 통신 방식 및 전자적 인터페이스에 관한 데이터 버스 표준으로, 1973년에 개발된 기존의 MIL-STD-1553 표준을 개량한 것이다. 높은 신뢰성을 요구하는 군용 시스템에 적용된 MIL-STD-1553B는 현재 군용은 물론 산업 및 우주용 데이터 버스 규격으로 널리 사용되고 있다.

MIL-STD-1553B는 하나의 버스 당 최대 31개의 터미널을 수용할 수 있다. 이때 터미널(Terminal)은 원격 터미널(Remote Terminal), 버스 제어기, 버스 모니터의 총 세 가지 유형으로 나뉜다. 모든 터미널은 반이중(Half-Duplex) 방식으로 통신하며, 데이터 전송 속도는 최대 1Mbps이다. 터미널은 워드로 구성된 메시지를 통해 데이터를 전달하는데, 각 비트들은 Manchester II Bi-Phase 기법을 통해 부호화되며, 하나의 워드는 최대 20개의 비트로 구성된다. 하나의 메시지는 최대 32개의 데이터 워드를 포함할 수 있으며, 모든 데이터 전송은

표 2. 항공기내 적용 가능한 무선통신 표준 기술 요약

특징/종류	IEEE 802.11	Bluetooth	IEEE 802.15.4
Example	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
Frequency	2.4GHz, 5GHz	2.4GHz	2.4GHz, 868MHz, 915MHz
Modulation	BPSK, QAM, 16-QAM 64-QAM	GFSK	ASK, DSB-ASK SSB-ASK, PR-ASK
Maximum Data Rate	150Mbps	24Mbps	250kbps
Media Access	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Maximum Distance	250m	30m	100m
Number of Terminals	50	8	65,635

비 동기식으로 이루어진다. 메시지 유형으로는 버스 컨트롤러에서 터미널, 터미널에서 버스 컨트롤러, 원격 터미널에서 원격 터미널, 브로드캐스트 및 시스템 제어 전송 유형이 있다. MIL-STD-1553B의 프로토콜은 명령을 받으면 해당 명령에 대한 응답을 전송한 뒤, 명령을 수행하는 명령/응답 (Command/Response) 방식이다.

## 2. ARINC (Aeronautical Radio, Incorporated) [14][15]

ARINC 429는 항공 전자장비 및 시스템 간의 통신 방식을 정의하는 규격으로써, 현재 에어버스 A310/A320 및 Boeing 727, 737, 747, 757, 787 등의 상용 항공기에서 가장 많이 사용되고 있다. ARINC 429는 Mark 33 Digital Information Transfer System으로 알려진 단방향 데이터 버스 표준을 사용한다. Mark 33은 단방향 데이터 버스이므로 항공기 내에 존재하는 모든 전자장비들은 트위스트 페어 (Twisted-Pair) 케이블로 연결되어 있으며, 버스 당 통신 가능 거리는 최대 90m이다. 모든 전자장비들이 케이블로 연결되어 있기 때문에 버스의 데이터 흐름을 제어하는 별도의 버스 컨트롤러가 필요하지 않으며, 데이터 전송에 대한 높은 신뢰성을 제공한다. 하나의 ARINC 429 송신기는 하나의 데이터 버스를 이용하여 최대 20개의 수신기에게 데이터를 전송할 수 있다. ARINC 429는 단방향 통신을 사용하기 때문에 네트워크에 새로운 장치가 추가되는 경우 케이블의 양이 급격히 증가하는 단점을 가진다. ARINC 429의 데이터 전송속도는 최소 12.5kbps에서 최대 100kbps이다.

## 3. AFDX (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet) [4][15]-[17]

1990년대 후반 이더넷 (Ethernet), IP, TCP/UDP 등의 인터넷 기반 데이터 통신 기술을 활용한 차세대 항공 데이터 네트

워크 (AND: Aircraft Data Network)의 개발이 진행되었고, 그 결과로 ARINC 664 표준이 제정되었다. AFDX는 ARINC 664의 파트 7에 규정된 데이터 전송 방식으로, 현재 에어버스 A380에 적용되어 있으며, 최신 항공전자 시스템인 IMA (Integrated Modular Avionics)의 핵심 네트워크 시스템 규격이다. AFDX는 IEEE 802.3 Ethernet MAC Addressing과 Internet Protocol (IP), User Datagram Protocol (UDP), SNMP (Simple Network Management Protocol), ICMP (Internet Control Message Protocol)와 같은 전통적인 이더넷 프로토콜을 사용한다.

AFDX는 서로 다른 두 개의 물리적 링크를 통해 두 개의 독립적인 네트워크를 구성할 수 있다. 이때 하나의 물리적 링크에서 장애 발생할 경우 신뢰성과 가용성 (Availability)을 보장하기 위해 다른 물리적 링크를 통해 데이터가 전송된다. AFDX 네트워크에 존재하는 모든 링크는 전이중 (Full-Duplex) 방식으로 연결되어 있다. AFDX는 일명 'Five-Level Pulse Amplitude Modulation'이라 불리는 'PAM5×5'의 비트 부호화 방식을 사용한다. 또한 AFDX는 Switched Ethernet을 통해 100Mbps의 데이터 전송률을 제공한다. AFDX는 보안과 신뢰성 있는 통신을 제공하기 위해 결정적 시간(Deterministic Timing)과 다중화 관리(Redundancy Management)의 개념을 활용한 프로토콜을 사용한다.

## III. 항공기내 무선통신에 사용 가능한 후보기술 분석

본 장에서는 항공기내 적용 가능한 무선 네트워크의 기술로 활용될 수 있는 IEEE 802.11과 Bluetooth 그리고 IEEE 802.15.4등의 표준 기술에 대해 소개한다. <표 2>는 각 기술의 특징을 간략히 정리한 것이다.

## 1. IEEE 802.11 [18][19]

IEEE 802.11은 흔히 Wi-Fi라고 부르는 무선 근거리 통신망(Wireless Local Area Network)을 위한 무선통신 네트워크 기술로, IEEE의 근거리 통신망(LAN)/도시권 통신망(MAN: Metropolitan Area Network) 표준 위원회(IEEE 802)의 11번째 워킹 그룹에서 개발된 표준 기술을 의미한다.

IEEE 802.11 기술은 1997년 처음으로 상용화 되기 시작했으며 이후 IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac 등으로 진화 발전하였다. IEEE 802.11g 이상에서는 기본적으로 물리계층 기술로 직교 주파수 분할 다중 방식(OFDM: Orthogonal frequency-division multiplexing)을 사용한다. 20MHz을 기본 주파수 대역폭으로 사용하며 무선채널 상황에 따라 다양한 변조(modulation) 방식을 제공한다. 또한 IEEE 802.11에서는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)을 미디어 접근제어 계층에서의 다중접속 기술로 사용한다. 2009년에 승인된 IEEE 802.11n이 다양한 IEEE 802.11 표준들 중 항공기내 무선통신 환경에 가장 적합한 특징을 지닌 IEEE 802.11 표준으로 평가 받고 있다.

IEEE 802.11n의 물리계층은 다중입출력(MIMO: Multiple-Input Multiple-Output) 안테나를 사용할 수 있다. 또한 IEEE 802.11n은 다중입출력 안테나를 활용하여 공간 분할 다중화(SDM: Spatial Division Multiplexing) 기술을 사용할 수 있다. IEEE 802.11n은 2.4GHz와 5GHz 대역에서 동작하며 데이터 전송을 위해 최대 40MHz 대역폭까지 사용할 수 있다. 또한 실외에서의 최대 전송거리는 250m에 달한다.

## 2. Bluetooth [20]

Bluetooth는 소형 저가의 RF(Radio Frequency) 솔루션을 목적으로 일련의 업체들에 의해 개발된 무선 통신 규약이다. 1998년 Bluetooth SIG(Special Interest Group)가 창립되고, 1999년 Bluetooth 규약 버전 1.0이 나오면서 Bluetooth는 대중에게 순식간에 알려졌고 대중의 관심을 끄는 기술이 되었다.

Bluetooth 규약은 기존의 다른 통신 규약들과 쉽게 상호 운용되고 조화될 수 있도록, 잘 조직화 되고 계층화 된 프로토콜 구조로 설계되었다. 따라서 Bluetooth 사용 범위는 무선 헤드셋 등의 단순한 휴대용 기기에 국한되지 않고 휴대폰, 디지털 카메라, 프린터, 가정이나 건물의 내부 무선 센서까지 확대될 수 있었다. 이러한 Bluetooth 기술의 범용성은 Bluetooth를 항공기내 무선통신 후보기술 생각할 수 있게 한다.

Bluetooth 버전 1.1에서는 사용자 데이터의 전송속도가

1Mbps로 정의되어 있으며, 64Kbps 실시간 데이터를 3 채널까지 지원할 수 있다. 최근 Bluetooth 버전 3.0은 전송속도를 최대 24Mbps까지 증대시켰지만 여전히 경쟁 기술인 IEEE 802.11에 비해 낮은 전송 속도는 Bluetooth의 약점으로 지적된다.

## 3. IEEE 802.15.4 [21][22]

IEEE 802.15.4는 저속도 무선 개인 통신망(WPAN: Wireless Personal Area Network)을 위한 물리계층과 미디어 접근제어 계층 기술 표준 가운데 하나이다. IEEE 802.15 워킹 그룹이 관리하고 있으며 대표적인 이름은 ZigBee이다. IEEE 802.15.4 표준은 센서 네트워크에서 가장 적합한 통신 기술로 인정받고 있다. ZigBee는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 주파수 대역에서 동작하며 센서, 장난감, 무선제어기 등에 사용될 수 있다. 2003년에 제정된 "IEEE Std 802.15.4-2003" 표준에 따르면 IEEE 802.15.4는 250Kbps 이하의 데이터 전송률을 지원하며, 2개의 주소모드, 네트워크 설정 자동화, 낮은 에너지 소비 등의 특징을 갖는다. 현재 기존 표준보다 더 정확한 위치 인식 능력, 높은 전송 효율, 다양한 데이터 전송률을 제공하는 것과 동시에 저가 및 저전력의 물리계층을 제정하는 것을 목표로 새로운 표준화가 논의되고 있다.

표 3. 항공 통신을 위한 주요 주파수 대역

	주파수 대역	사용목적
미국	3,500~3,600GHz	항공이동
	3,600~3,650GHz	
	4,200~4,400GHz	
	5,000~5,150GHz	
	5,150~5,250GHz	
	5,350~5,460GHz	
한국	4,200~4,400GHz	항공무선항해
	5,091~5,150GHz	항공무선항해, 항공이동
	5,150~5,250GHz	항공무선항해
	5,335~5,460GHz	

최근 가전기기, 전등제어, 사무기기 및 각종 기기들의 효율적인 관리를 위해 간편한 근거리 무선네트워크의 표준이 요구되고 있다. 저전력 기기들에게 적합한 IEEE 802.15.4은 사무자동화 및 산업자동화의 기본 프로토콜로 고려되고 있다. 더 나아가 IEEE 802.15.4은 센서 네트워크에 최적화된 기술인 만큼 항공기내 수 많은 센서가 무선으로 대체되었을 때 바로 적용할 수 있는 대표적인 후보기술로 논의되고 있다. 그러나 IEEE



802.15.4는 데이터 전송속도의 제약으로 인해 고해상도 촬영 등을 요구하는 군용기내 무선통신 시스템에서는 적합하지 않을 수 있다.

## IV. 항공기내 무선통신을 위한 주파수 현황과 채널 모델 및 트래픽 모델

본 장에서는 국내외의 항공 주파수 동향을 살펴보고 현재까지 연구된 무선채널 모델과 트래픽 모델을 소개한다.

### 1. 국내외 항공 주파수 대역 [23]

항공 주파수는 국제민간항공기구 (ICAO) 표준 시스템을 기준으로 항공 무선 항행 시스템 (Aeronautical Radio Navigation Systems), 항공 통신 시스템 (Aeronautical Communication Systems), 항공 감시 시스템 (Aeronautical Surveillance Systems) 등의 용도로 할당한다.

ICAO 기준으로 국내 항공 주파수 역시 항공 무선 항행 시스템, 항공 통신 시스템, 항공 감시 시스템 등의 용도로 할당되어 있으며, 국외 항공 주파수 할당 현황 스펙트럼과 큰 차이가 없이 주로 300MHz~30GHz 에 분포하고 있다. RNSS(1,215~1,300MHz), 감시 레이더(2,700~2,900MHz) 및 무인항공기 운용에 필요한 주파수 대역인 5,000~5,091MHz 등이 국내에서 사용되지 않는 항공 주파수 대역이다.

표 4. 항공기내 전파 특성에 따른 그룹 구분 및 채널 모델 파라미터

Area	$n$	$k$	$C_1$
A	2.45	2.00	189.8
B	2.09	3.46	167.5
C	1.86	2.49	124.5
D	1.86	2.12	118.2
E	1.59	1.51	77.9
F	1.95	2.31	142.5

국제민간항공기구는 2009년 11월 태국에서 개최된 항공통신 패널 (ACP, Aeronautical Communication Panel) 회의에서 4.2~4.4GHz을 항공기내 무선통신 전용 대역으로 지정하였다.

국내외의 항공 통신을 위한 주파수 현황 및 동향을 종합해보면, 초단파 (VHF, Very High Frequency)부터 초고주파 (SHF, Super High Frequency) 대역까지 주파수 할당 및 분배가 이루어졌다. 그 중 4.2~4.4GHz 대역이 세계전파회의에서 항공기내 무선통신 용도로 결정됨에 따라, 항공기내 무선통신을 위

해 초고주파 대역의 사용이 주목 받고 있다. <표 3>은 초고주파 대역에서 항공 통신을 위한 한국과 미국의 주파수 대역 및 용도를 정리한 것이다.

### 2. 항공기내 무선통신을 위한 채널 모델 [10][11]

항공기내 무선 채널 손실 모델은 일반적인 송수신기간의 채널 모델을 통해 나타낼 수 있다. 항공기내 채널 손실 모델  $L$ 은 경로감쇄  $h(f,d)$ 와 음영효과 (Shadowing)로 인한 모델 예측 에러  $Y$  그리고 스몰 스케일 페이딩  $X$ 으로 다음과 같이 구성된다.

$$L=h(f,d) \times Y \times X$$

여기서  $f$ 는 주파수이고  $d$ 는 송수신간의 거리로 정의 된다. 경로감쇄  $h(f,d)$ 은 구체적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(f,d)=C_1 d^{-n} f^{-k}$$

$n$ 과  $k$ 는 거리와 주파수의 지수이고  $C_1$ 는 상수 오프셋이다.  $n$ 과  $k$  그리고  $C_1$ 은 송수신기의 위치에 따라 그 값이 다양하게 변한다. <표 4>는 민간항공기를 일반적으로 6개의 구역으로 구분했을 때 각 구역에서 무선 채널을 모델링하는  $n$ 과  $k$  그리고  $C_1$ 의 값을 정리한 것이다. 각 그룹에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다. 그룹 A는 동일한 객실 내에서의 전파 혹은 조종실 내에서의 전파를 나타낸다. 그룹 B는 서로 다른 객실간의 전파를 말하며 객실 사이에 장애물이 있음을 가정하고 있다. 여기서 장애물로는 화장실이나 조리실 등을 의미한다. 그룹 C는 객실과 객실보다 낮은 구역 간의 전파 혹은 객실과 조종실 간의 전파를 나타낸다. 여기서 객실과 객실보다 낮은 구역간의 전파는 주요 간판을 통과하는 전파이고, 객실과 조종실 간의 전파는 객실의 장애물을 통과하는 전파이다. 그룹 D는 객실 내의 한 지점과 외부의 항공기 날개 혹은 엔진의 한 지점간의 전파를 나타낸다. 그룹 E는 객실과 랜딩기어 간의 전파 혹은 객실보다 낮은 구역과 항공기 외부 동체와의 전파를 나타낸다. 그룹 F는 항공기 외부 동체 두 지점 간의 전파를 나타낸다.

추가적으로 온도, 압력, 습도, 고도 등을 고려하여 보다 정확한 항공기내 무선채널을 모델링 할 수 있다.

### 3. 항공기내 무선통신을 위한 트래픽 모델 [2]

일반적인 무선 센서 네트워크의 트래픽은 크게 주기적 이벤트 (Periodic Event)와 산발적인 이벤트 (Sporadic Event)에 의해 발생한다. 여기서 주기적 이벤트란 주기적으로 트래픽이 발생하고 이벤트의 주기와 작동 시간이 예측 가능한 이벤트를 의미한다. 반면에 산발적인 이벤트는 발생 시간이 랜덤하고 예측 불가능하므로 통제하기 어려운 이벤트를 말한다. 이와 유사하게 항공기내의 트래픽 모델은 그림 1과 같이 주기적 데이터 트래픽 (Periodic data traffic), 이벤트성 주기적 데이터 트래픽

(Event-triggered periodic data traffic), 그리고 이벤트성의 데이터 트래픽 (Event-triggered data traffic)으로 구분할 수 있다.

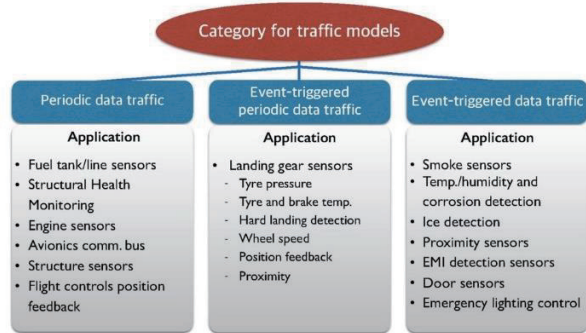


그림 1. 항공기내 트래픽 분류

1) **주기적 데이터 트래픽:** 주기적 데이터 트래픽은 주기적으로 데이터가 발생하는 경우이다. 항공기내 대부분의 제어응용 트래픽은 대부분 주기적 데이터 트래픽으로 분류된다. 이러한 트래픽을 유발시키는 어플리케이션은 항공기내의 모니터링이나 지속적인 데이터 전달이 필요한 주요 장치나 센서에 해당하며 항공기 연료 탱크 센서, 구조 건전성 모니터링, 엔진 센서, 항공 전자 기기 통신 버스 등이 있다.

2) **이벤트성 주기적 데이터 트래픽:** 이벤트성 주기적 데이터 트래픽은 특정 이벤트가 발생하였을 때 주기적으로 트래픽이 발생하는 경우이다. 이러한 트래픽을 발생시키는 장치로 착륙 장치의 타이어 압력, 타이어와 브레이크의 온도, 경차량 감지 센서, 바퀴 속도 센서 등이 있다.

3) **이벤트성의 데이터 트래픽:** 이벤트성의 데이터 트래픽은 특정 상황이나 요구를 만족할 때 데이터 트래픽이 발생하는 경우이다. 따라서 이러한 센서는 대기모드 상태에 있다가 특정 조건을 충족시킬 때 동작하고, 관련된 센서로는 항공기 내외부의 환경의 변화에 따라 발생하는 연기, 온도, 습도, 부식, 동결 감지 센서, 근접 센서, EMI (Electromagnetic interference) 센서 등이 있다.

## V. 항공기내 무선통신의 군통신에의 응용

본 장에서는 지금까지 살펴본 항공기내 무선통신이 군용기에 적용되기 위해 필요한 신뢰성 요구사항을 분석한다. 항공기의 항공전자 시스템은 항공기의 종류와 용도에 따라 다양한 신뢰성 요구조건을 갖고 있다. 따라서 기존의 민간 항공기를 기준

으로 표준화가 진행되었던 항공기내 통신을 군용기에 적용하기 위해서는 군용기에 대한 신뢰성 분석이 선행되어야 한다.

항공 시스템의 신뢰성은 민간 또는 군용 항공기뿐만 아니라 유인 및 무인기에 따라 매우 상이한 요구사항을 갖는다. 실시간 고장허용 가능한 유인 항공 시스템의 신뢰성은 여객기의 경우  $10^{-9}$  이하, 6,000lbs이하 일반 항공기는  $10^{-6}$ 이하, 군용기는  $10^{-7}$ 이하로 정의된다. 무인기의 비행시간 당 비행체 필수 기능 고장 허용률은  $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ 이며, 임무에 필수적인 연산은  $10^{-4}$ ~ $10^{-6}$ 의 신뢰성을 요구한다[6].

항공 시스템의 신뢰성 이외에도 항공기의 안전성을 평가하기 위해 사고 발생률 (Mishap Rate)이라는 개념이 사용된다. 사고 발생률은 100,000 비행시간 동안 발생한 비행체의 사고 발생수로 정의된다. 일반적으로 무인기는 유인기에 비하여 차수가 높은 사고 발생률을 보여준다. 예를 들어 이중화 통합임무/비행 조종 컴퓨터로 구성된 글로벌 호크 무인기의 실측 시스템 신뢰성은  $1.19 \times 10^{-4}$ 이며, 이는 9,600 비행시간 당 1회의 사고 발생률을 해당하는 수치다[8].

## VI. 결론

본고에서는 차세대 항공시스템의 핵심요소 중 하나인 항공기내 무선통신 (WAIC: Wireless Avionics Intra-Communication) 시스템의 연구동향과 이를 군용기내 무선통신 시스템에서 응용하기 위해 필요한 시스템 신뢰성 요구사항을 살펴보았다. 항공기내 무선통신 표준화 동향을 통해 항공기내에 무선통신 시스템을 도입하려는 세계적인 흐름을 확인하였다. 또한 항공기내 유선 통신네트워크 기술을 살펴봄으로 무선통신 네트워크가 도입 되었을 때 대체해야 할 요구사항을 확인해 볼 수 있었다. 항공기내 무선통신 시스템에 사용할 수 있는 무선 표준 기술로써 IEEE 802.11, Bluetooth, IEEE 802.15.4 등의 무선통신 기술을 살펴보았고 각 기술의 장단점을 파악하였다. 또한 현재 표준화에서 논의되고 있는 항공기내 무선통신 시스템을 위한 주파수 대역과 해당 대역에서 채널 및 트래픽 모델을 살펴보았다. 마지막으로 항공기내 무선통신 시스템을 군용으로 응용할 때 고려해야 하는 네트워크 신뢰성을 살펴보았다. 앞으로 군용기내 무선통신 시스템 적용에 관한 연구는 군용통신 연구의 새로운 발전 방향이 될 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

This work has been supported by Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development under Implementation Technology on High Reliability Wireless Networks for an Aircraft (UD150027JD).

## 참고 문헌

- [1] D. Winter, "Cyber physical systems – an aerospace industry perspective," [Online]. Available: <http://www2.ee.washington.edu/research/nsl/aar-cps/winterrev4.pdf>, 2008.
- [2] M. Pantiz, et al, "The opportunities and challenges associated with wireless interconnects in aircraft," Proceedings of the institution of mechanical engineers part G–Journal of aerospace engineering, 224(4), pp.459–470, 2010.
- [3] D. K. Dang, A. Mifdaoui, and T. Gayraud, "Fly-by-wireless for next generation aircraft: Challenges and potential solutions", in Wireless Days (WD), IFIP, pp.1–8, 2012.
- [4] N. E. Safwat, M. A. El-Dakroury, A. Zekry, "The evolution of aircraft data networks," International Journal of Computer Applications, 94(11), pp.27–32, 2014.
- [5] A. Aglargo, H. Spangenberg, "Safety and reliability analysis of wireless data communication concepts for flight control systems," in Digital Avionics Systems Conference (DASC), IEEE/AIAA 33rd, pp.2E2–1–2E2–12, 2014.
- [6] Issa Jacob, A Study of a Reconnaissance Surveillance Vehicle, NPS041003, 2012.
- [7] 조문제, 정방철, 박관근, 장우혁, 반태원, "항공기내 무선 네트워크에서 백홀 트래픽 감소 기법," 한국정보통신학회 논문지, Vo. 20, No. 9, pp. 1704–1709, Sep. 2016.
- [8] Office of the Secretary of Defense, Unmanned Aerial Vehicle Reliability Study, 2003.
- [9] ITU–R, Technical characteristics and operational objectives for wireless avionics intra–communications (WAIC), Report ITU–R M.2197, 2010.
- [10] ITU–R, Compatibility analysis between wireless avionic intra–communication systems and systems in the existing services in the frequency band 4200–4400 MHz, Report ITU–R M.2319, 2014.
- [11] ITU–R, Technical characteristics and spectrum requirements of Wireless Avionics Intra–Communications systems to support their safe operation, Report ITU–R M.2283, 2013.
- [12] Condor Engineering, MIL–STD–1553 Tutorial, 2000.
- [13] Data Device Corporation, MIL–STD–1553 Designer's Guide Sixth Edition, 2003.
- [14] Condor Engineering, ARINC Protocol Tutorial, 2000.
- [15] C. M. Fuchs, "The Evolution of avionics networks from ARINC 429 to AFDX," The Seminars Future Internet (FI), Innovative Internet Technologies and Mobile Communication (IITM) and Aero–space Networks (AN), pp.65–76, 2012.
- [16] Condor Engineering, AFDX Tutorial, 2005.
- [17] Creative Electronic Systems S.A., CES White Paper on AFDX, 2003.
- [18] Wireless LAN Working Group. IEEE Standard Part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. IEEE Std 802.11–2012 (Revision of IEEE Std 802.11–2007), March 2012
- [19] Wi-Fi Alliance, [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/>
- [20] Bluetooth technology, [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/>
- [21] Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., "IEEE Std. 802.15.4–2003, IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR–WPANs)", New York: IEEE Press, October 2003.
- [22] The ZigBee Alliance, [Online]. Available: <http://www.zigbee.org/>
- [23] 광영길, 항공주파수 대역 확보 및 활용 효율화 방안 연구, 국토해양부, 2012.

약 력



방 인 규

2010년 연세대학교 공학사  
 2012년 KAIST 공학석사  
 2012년 현재 KAIST 전자공학과 박사과정  
 관심분야: 5세대 이동통신, 물리계층보안, 사물지능통신, 정보이론, 항공기내통신



박 판 근

2005년 아주대학교 전자공학부 학사  
 2007년 Royal Institute of Technology 무선시스템공학과 석사  
 2011년 Royal Institute of Technology 정보통신공학과 박사  
 2011년 Royal Institute of Technology 박사후 연구원  
 2011년~2013년 University of California, Berkeley 박사후 연구원  
 2013년~2015년 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2015년~2016년 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
 2016년~현재 충남대학교 전자정보통신공학과 조교수  
 ※관심분야: 무선 센서 네트워크, 사이버물리시스템, 네트워크 제어시스템



반 태 원

1998년 경북대학교 전자공학과 학사  
 2000년 경북대학교 전자공학과 석사  
 2010년 KAIST 전기전자공학과 박사  
 2000년~2012년 KT 네트워크부문  
 2012년~현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수  
 ※관심분야: 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유



정 방 철

2002년 아주대학교 전자공학부 학사  
 2004년 KAIST 전자전산학과 석사  
 2008년 KAIST 전자전산학과 박사  
 2008년~2009년 KAIST IT융합연구소 팀장  
 2009년~2010년 KAIST IT융합연구소 연구교수  
 2010년~2014년 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
 2014년~2015년 경상대학교 정보통신공학과 부교수  
 2015년~현재 충남대학교 전자공학과 부교수  
 ※관심분야: 무선통신시스템, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱



장 우 혁

2001년 아주대학교 전자공학부 학사  
 2003년 KAIST 전자전산학과 석사  
 2010년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
 2009년~2010년 KAIST IT 융합연구소 선임연구원  
 2010년~2012년 Massachusetts Institute of Technology 박사후 연구원  
 2012년~현재 국방과학연구소 선임연구원  
 ※관심분야: 신호처리, 정보이론, 부호이론, 무선통신시스템, 항공전자시스템



전 상 운

2003년 연세대학교 공학사  
 2006년 연세대학교 공학석사  
 2011년 한국과학기술원 공학박사  
 2011년~2013년 스위스 로잔연방공과대학교 박사후연구원  
 2013년~현재 국립안동대학교 정보통신공학과 조교수  
 관심분야: 무선통신, 정보이론, 빅데이터



성 단 근

1975년 서울대학교 공학사  
 1982년 University of Texas at Austin 공학석사  
 1986년 University of Texas at Austin 공학박사  
 1996년~1999년 인공위성연구센터 소장  
 1986년~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 교수  
 1992년 국민훈장 동백장  
 2013년 해동학술대상  
 2015년 국제전기전자공학회 석학회원 (IEEE Fellow)  
 관심분야: 이동통신시스템, 무선자원관리, 스마트 그리드, 사물지능통신, 무선랜