VDL 모드 2 데이터링크 시스템 설계 및 구현

배중원*, 김현경**, 김인규***, 김태식****

Design and development of VDL Mode 2 System

Joong-Won Bae*, Hyoung-Kyoung Kim**, In-Kyu Kim***, Tae-Sik Kim****

Abstract

This paper presents the result of VDL Mode 2 system design and implementation with AOA (ACARS Over AVLC) protocol based on international VDL Mode 2 specifications for the bit-oriented ATS applications. The designed VDL Mode 2 system is composed of airborne and ground subsystem. Airborne subsystem consists of VDR, CMU and Ground system consists of Ground Station and DSP. For the test of whole system, simplified CPDLC, ADS and AFN applications are implemented in test equipments.

초 록

VDL 모드 2 시스템은 초단파대역 디지털 데이터링크 기술의 일종으로 ISO 개방형시스템 구조에 기반한 항공종합통신망의 공대지 서브네트워크 기술로 개발되었다. VDL 모드 2 기술은 조종사 관제사간 데이터링크통신(CPDLC), 자동종속감시(ADS) 등 다양한 항공교통서비스에 활용 가능하며, 민간항공사의 항공운용통신용으로 20년 이상 사용되어 온 ACARS 시스템을 대체할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이진기반 항공교통서비스 애플리케이션 구현을 위하여 AOA 프로토콜과 관련 국제규격을 적용한 VDL 모드 2 시스템 설계 및 제작 결과를 기술한다.

키워드 : 데이터링크(Datalink), 항공통신(Communication), 초단파대역(VHF), 항공교통서비스(ATS)

1. 서 론

국제민간항공기구(ICAO)의 차세대 항행시스템(CNS/ATM)의 도입과 전환이 1993년 승인된 후 CNS/ATM 관련 기술연구 및 표준화 작업, 구축계획 수립, 시범운용 사업 등이 활발히 추진되고 있다. 항공통신 분야에서는 단절된 공대지, 지대지 서브네트워크와 분리된 항공교통서비스제공자 간의 통신체계를 범 세계 단일 네트워크로 통합하는 항공종합통신망(ATN, Aeronautical Telecommunication Network) 구축을 최종 목표로 하고 있으며, 특히

접수일(2007년 12월 18일), 수정일(1차 : 2008년 6월 5일, 2차 : 2008년 6월 17일, 게재확정일 : 2008년 7월 1일)

* 차세대항행팀/jwbae@kari.re.kr
** 차세대항행팀/kimhk@kari.re.kr
*** 차세대항행팀/timber@kari.re.kr
**** 차세대항행팀/kts@kari.re.kr

공지간 항공이동통신 분야에서 기존 음성 위주의 통신을 효율성 높은 데이터 통신 위주로 전환하려는 시도가 계속되고 있다. VDL 모드 2(이하 VDL M2) 기술은 조종사와 관제사간 데이터링크 통신(CPDLC), 자동종속감시(ADS) 등의 항공교통업무(ATS) 애플리케이션 구축에 활용되고 항공운용통신(AOC) 용도로 주로 사용 중인 ACARS 시스템을 대체할 유력한 ATN 호환 공대지 서브네트워크 기술 중 하나이다. VDL M2 기술은 유럽의 CPDLC 구축을 위한 시범사업인 LINK2000+ 프로그램을 통해 운용되고 있으며, 미국에서도 2002년 미 동부 마이애미 지역에서의 시범사업을 통해 CPDLC 운용의 효과를 입증한 바 있다.

VDL M2 기반 애플리케이션은 ATN 전환의 중간 단계에서, 대중화된 ACARS 기반 환경과 기존 응용프로그램과의 호환성을 최대한 유지하며 새로운 VDL M2 데이터링크 기술을 수용 가능한 AOA (ACARS Over AVLC) 프로토콜 환경하에서 우선 적용될 것으로 전망된다.

본 논문에서는 차세대 항행시스템 환경 하에서 기존 ACARS 기반 시설을 활용할 수 있는 AOA 프로토콜을 사용하여, 항공교통업무 애플리케이션을 구현에 활용될 수 있는 VDL Mode 2 공대지 데이터링크 시스템 설계 및 제작 결과를 제시한다.

2. VDL Mode 2 기술

VDL M2는 그림 1과 같이 ATN 망 차원에서 항공기와 지상 간의 이동통신 서브네트워크로써의 역할을 수행한다. ATN 망은 국제표준화기구(ISO)에 의해 정의된 OSI 참조모델을 기반으로 7개의 계층 구조로 이루어지며 ATN 호환 시스템 사이에서 코드투명형 통신(Code Transparent Communication)을 제공한다. ATN 망의 7개의 계층적 구조에서 VDL M2는 그림 2와 같이 물리계층, 데이터링크계층 및 서브네트워크계층까지를 포함하며 상위계층을 포함하는 A/G 라우터와 연결된다. 그러나 아직 ATN 라우터의 사용이 완벽하지 않아 현재에는 1970년대 말에 개발된 ACARS 망을 그대로 이용하면서 VDL M2를 적용하는 AOA(ACARS Over AVLC) 프로토콜을 사용하는 방식이 제안되었다. VDL M2는 기존 ACARS 기술(2400bps)에 비해 10배 정도의 성능 향상을 기대할 수 있다.

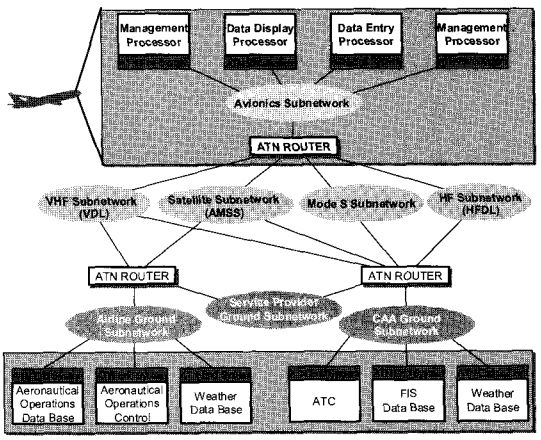


그림 1. ATN 환경 하에서 공지간 서브네트워크 구성

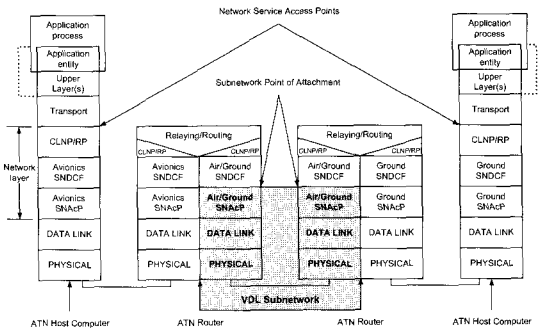


그림 2. ATN 환경에서의 VDL 서브네트워크

3. VDL Mode 2 시스템 구현

3.1 VDL Mode 2 전체 시스템 설계

본 연구를 통해 개발된 VDL M2 시스템은 항공기용의 탑재 통신장비와 지상국용의 지상 통신장비로 구성된다. 탑재/지상 통신장비는 기능·

성능 시험과 환경시험 용도로 각 3조를 제작하였다. 시험평가를 고려한 전체 시스템 구성은 그림 3과 같다.

항공기는 핸드오프시를 제외하고는 단 하나의 지상국과 연결되지만 지상 통신장비는 한 번에 여러 대의 항공기를 연결하므로, 탑재 통신장비와 지상 통신장비는 설계 및 구현 구조에 상이점이 있다.

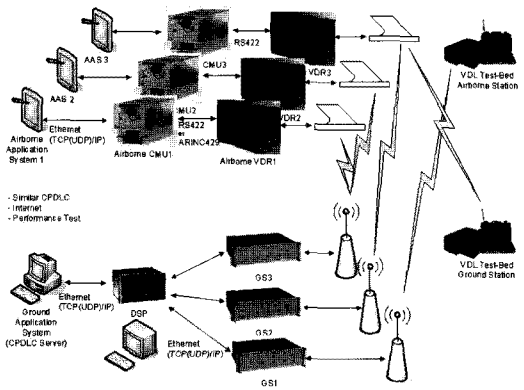


그림 3. 개발 시스템 전체 구성도

탑재 통신장비는 그림 4와 같이 D8PSK 변복조 방식의 물리계층과 매체접근제어(MAC) 기능을 수행하는 VHF 송수신장치(VDR: VHF Data Radio)와 링크관리개체(LME: Link Management Entity), 데이터링크서비스(DLS: Data Link Service) 서브계층 및 서브네트워크계층의 기능을 수행하는 통신관리장치 (CMU: Communication Management Unit)로 분할되는 구조를 채택하였다.

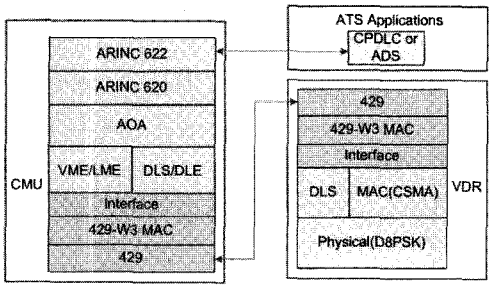


그림 4. VDL M2 탑재시스템 설계

지상 통신장비는 그림 5와 같이 물리계층, MAC, DLS/DLE로 구성되는 지상국(GS)과 VME 및 AOA 프로토콜로 구성되는 데이터링크서비스 처리장치(DSP)로 설계하였다. 탑재시스템은 지상 스테이션과 핸드오프를 제외하고는 한 개의 링크를 형성하지만 지상기지국은 여러 개의 탑재시스템과 링크를 형성한다.

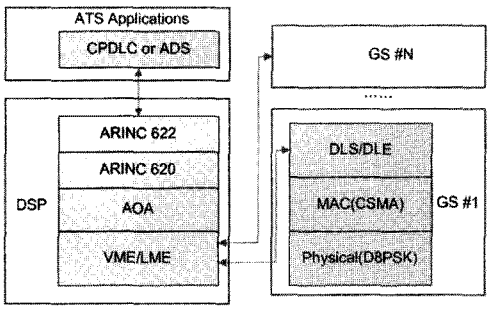


그림 5. VDL M2 지상시스템 설계

개발된 시스템의 기능과 성능을 검증하기 위하여 간략히 ATN 호환 이진기반 CPDLC/ADS 애플리케이션을 구현한 운용시험장비를 설계하였다. 탑재 운용시험장비(AAS)의 경우 보잉 B777 기종의 FANS 시스템인터페이스를 차용하여 설계하였고, 지상 운용시험장비(GAS)에는 ADS 정보에 기반한 항공기 이동궤적을 지도상에 도시하고, CPDLC 메시지를 처리하도록 구성하였다. 또한 운용시험장비는 송수신기의 기본 통신 성능을 점검하기 위한 Loop-back 기능을 포함하도록 설계하였다.

개발 중인 VDL M2 시스템은 관련 ICAO, RTCA, ARINC 규격을 만족하도록 설계되었으며, 주요 목표 성능은 표 1과 같다.

3.2 VDL Mode 2 프로토콜 설계

3.2.1 VDL M2 물리계층

VDL M2의 물리계층은 송수신기의 주파수 제어, 비트단위 정보교환 등의 기능을 수행하며 Raised 코사인 필터(α=0.6) D8PSK 변조를 하며 31.5 kbps의 비트 전송률을 제공한다. 항공통신

용 VHF 대역은 118~137MHz로 채널당 25KHz의 대역폭을 갖는다. 전체 기능도는 그림 6, 7과 같으며 심볼 동기 및 모호성 해결을 위한 훈련시퀀스, 전방향 오류정정을 위해 RS(255, 249) Reed-Solomon 채널 코딩이 적용된다.

표 1. VDL M2 개발 목표 성능

항 목	개발 목표		비 고
	개발규격	구현	
사용주파수(Mhz)	118~137	←	VHF송수신기
운용반경	200nm	←	
비트오율	10^{-3} (Corrected:10^{-4})	←	@200nm
채널간격(khz)	25	←	
RF출력(W)	15W이상	25W	
수신감도(dBm)	GS: -102dBm AS: -98dBm	←	@BER 10^{-3}
수신선택도(dB)	80dB이상	←	@2nd adjacent Channel
변복조방식	D8PSK	←	VDL M2
데이터전송률(kbps)	31.5	←	
다중접속방식	CSMA (p-persistence)	←	
운용온도(℃)	GS : -20~55 AS : -30~55	←	RTCA/ DO-160
물리계층	ICAO SARPs 준수	←	
DL계층	ICAO Doc. 9776외 국제표준 준수	←	

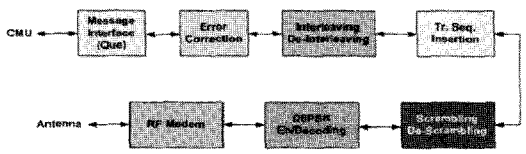


그림 6. 물리계층 기능도

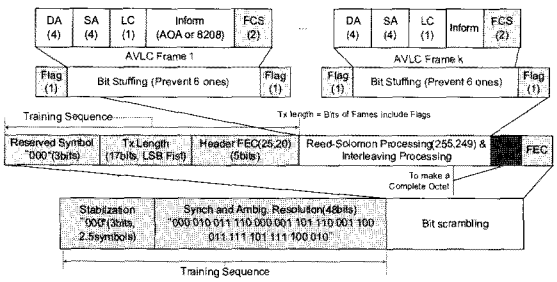


그림 7. 물리계층 데이터 구조 및 처리 절차

3.2.2 VDL M2 데이터링크계층

데이터링크 계층은 하나의 네트워크 개체로부터 다른 네트워크 개체로의 정보전송 역할을 수행하며 그림 8과 같은 구조를 갖는다.

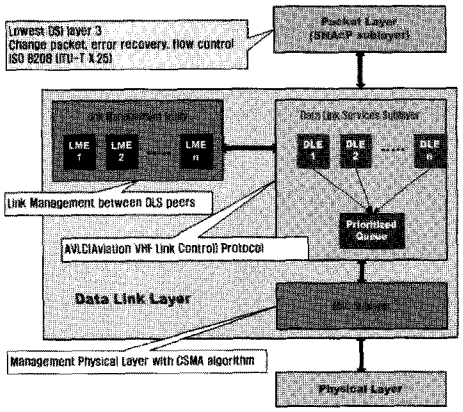


그림 8. 데이터링크 계층의 구조

또한 송수신 프레임의 분해 및 재조합, 프레임 동기화, 비정상 프레임의 거절, 프레임 오류의 제어, RF 채널의 선택, 주소의 인식, 응답 없는 수신단에 대한 초기화, FCS 생성 등의 기능을 수행한다.

VDL M2의 MAC 서브계층은 다중접속을 위해 p-persistent CSMA 알고리즘을 이용한다. 이를 통해 모든 기지국들은 채널 획득을 위한 동등한 기회를 가지는 동시에 시스템 성능을 최대로 하면서 전송 지연과 충돌을 최소화 한다.

MAC 서브계층의 기능은 Transmission Decision Making, Set Channel Status, Process VDR Primitives 3개의 기능 블록으로 구성된다. Transmission Decision Making 블록에서는 MAC 버퍼에 프레임이 있는 동안 반복적으로 p-persistence CSMA 알고리즘을 통해 프레임 전송을 시도하는 과정을 처리한다. Set Channel Status 블록에서는 물리 계층으로부터 수신되는 채널의 상태정보 프리미티브를 수신하여 채널 상태 변수 값을 설정한다. Process VDR Primitives 에서는 ASIP 인터페이스에 대한 모든 처리를 담당한다.

MAC 서브계층에 대해서는 세부적인 함수들을 순서도로 구성하였으며, MAC 소프트웨어의 핵심인 Transmission Decision Making의 순서도는 그림 9와 같다.

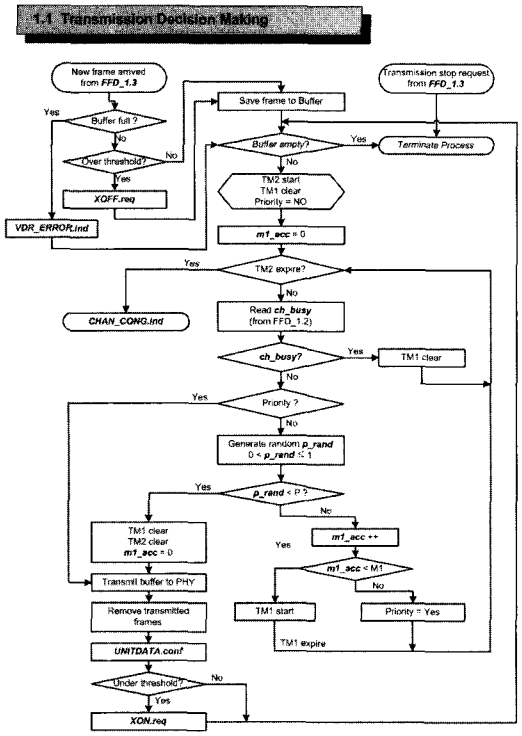


그림 9. MAC - Transmission Decision Making 순서

DLS 서브계층은 비트단위 단방향 공지간 통신 기능을 제공한다. 즉, 채널 접근 및 점유는 하위계층인 MAC이 제공해주고, 이를 바탕으로 DLE를 생성하여 연결기반의 점대점 링크를 형성하여 상위계층에게 제공한다. 따라서, DLS는 서브네트워크로부터 전달받은 패킷 또는 MAC으로부터 전달받은 비트단위의 프레임들을 재조합하고, 중복된 프레임들의 검사 등을 수행한다. DLS의 프로토콜은 ISO 13239의 HDLC (High-Level Data Link Control)을 항공통신 ATN 망에 적합하도록 일부를 수정한 AVLC (Aviation VHF Link Control) 프로토콜을 사용하며 프레임 형태는 표 2와 같이 구성된다.

표 2. AVLC 프레임 포맷

		Bit Number							
		MSB							LSB
Description	Oct No.	8	7	6	5	4	3	2	1
Flag	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Destination Address Field	1	d_{22}	d_{23}	d_{24}	d_{25}	d_{26}	d_{27}	A/G	0
	2	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}	d_{19}	d_{20}	d_{21}	0
	3	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	0
	4	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	0
Source Address Field	5	s_{22}	s_{23}	s_{24}	s_{25}	s_{26}	s_{27}	C/R	0
	6	s_{15}	s_{16}	s_{17}	s_{18}	s_{19}	s_{20}	s_{21}	0
	7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	0
	8	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	1
Link Control Field	9	N(R)			P/F	N(S)			
Information Field	10 ~ N-2	User Data							
Frame Check Sequence Field	N-1	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{16}
	N	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
Flag	N+1	0	1	1	1	1	1	1	0

DLS 계층의 주요 기능중 대표적인 INFO 프레임 수신 처리에 대한 순서도는 그림 10과 같다.

VME(VDL Management Entity)는 LME(Link Management Entity), DLE(Data Link Entity) 생성을 통해 상대편과 링크를 설립하고 서비스 영역을 벗어날 경우에 핸드오프를 수행하는 등 전반적인 링크관리를 담당한다. 또한 링크 연결 변화정보를 상위계층에게 알려주는 역할을 수행한다. VME 계층은 항공기와 지상국의 처리 과정에 차이가 있기 때문에 VME 알고리즘에 있어서는 항공기와 지상국을 별도로 설계가 이루어져야 한다. 예를 들면 링크 설립의 시작은 XID_CMD_LE(P=1)을 보내는 것으로 수행되는데 이는 항공기만이 전송할 수 있으며, 반대로 응답인 XID_RSP_LE(P=1)은 지상국에서만 전송할 수 있다. VME는 링크 관리 기능이 주된 목적이므로, 핵심 프로토콜에 해당되는 핸드오프에 대한 모든 순서도를 작성하여 S/W 구현에 활용하였다.

VDL M2 프로토콜의 S/W 구현은 리눅스 환경에서 C언어로 개발되었고 구현과 검증을 위해 표 3과 같은 상태 천이표를 작성하였다.

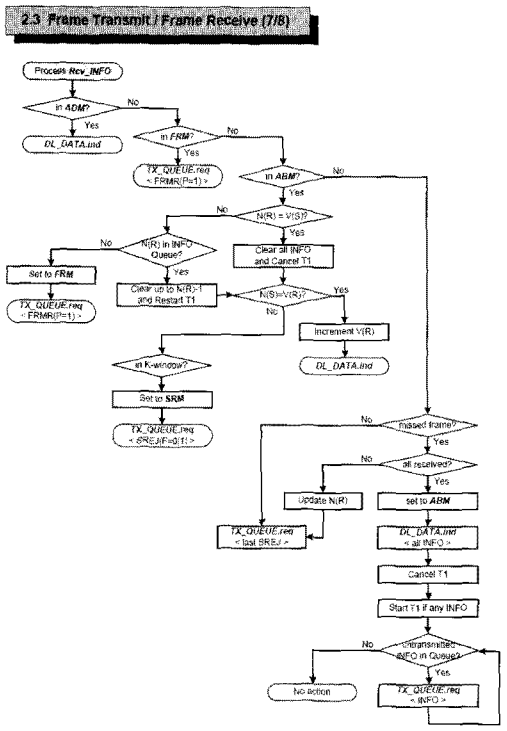
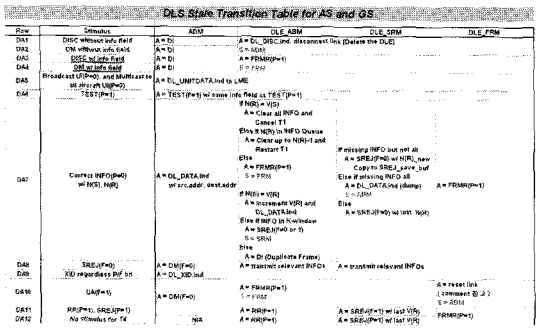


그림 10. DLS - Frame Transmit / Frame Receive

표 3. DLS 상태 천이표



3.2.3 VDL M2 상위계층 설계

표준화된 ATN 규격을 완벽히 만족하는 VDL M2 서브네트워크 구성을 위해서는 서브네트워크 접근프로토콜(SNAcP : Subnetwork Access Protocol)인 ISO 8208(x.25) 규격을 만족해야 하고 상위계층에서 해당 ATN 프로토콜을 구현해야 한다. 그러나 현재 ATN 규격은 비용 대 효과를 고려하여 상용의 IP 기반 프로토콜을 도입하려는 추세이며, 현재까지 완벽히 검증된 ATN 망과 라우터가 개발되어 있지 않은 상황으로 현실적으로 8208 프로토콜을 활용할 수 없는 상황이므로, 본 연구에서는 AOA 프로토콜을 구현하여 사용자간 데이터 전송을 수행하는 방식을 채택하였다.

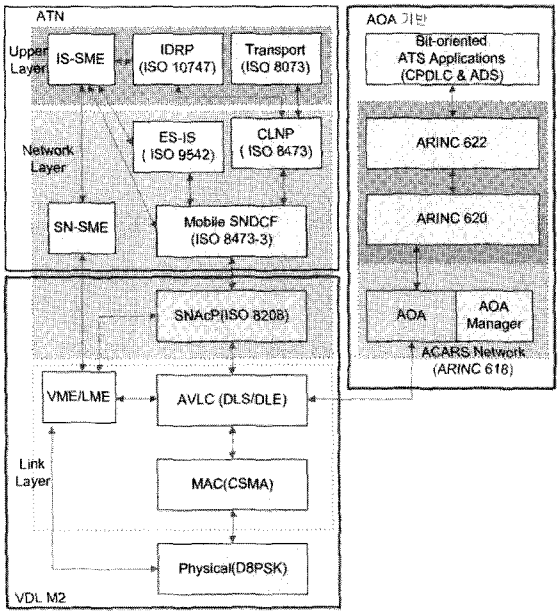


그림 11. VDL M2 프로토콜 스택 구성 및 인터페이스

그림 11은 ATN 호환 VDL M2 프로토콜 스택 구성과 AOA 기반의 스택 구조를 비교한 것이다. 기존 ACARS 망은 문자 기반의 데이터 전송만을 지원하고 있어 비트 기반 애플리케이션을 지원할 수 있는 방안을 모색해야 한다. AOA는 기존 ACARS 망을 그대로 이용하면서 공지간 통신 부분에는 VDL M2 규격을 사용하여 AVLC 프레임을 전송할 수 있게 하는 통신 규약이다.

ARINC 622규격의 ACF(ACARS Convergence Function) 기능은 하위계층과 상위 애플리케이션 중간에서 인터페이스 - 비연결(connectionless) 방식의 ACARS 망과 연결방식의 애플리케이션과 AVLC 프로토콜의 인터페이스 - 역할을 수행하

며 결국 트랜스포트계층의 서비스를 에뮬레이션 하는 기능을 수행하게 된다.

AOA를 적용한 VDL M2 상위계층 프로토콜 스택의 구성과 메시지 구조를 그림 12에 정리하였다.

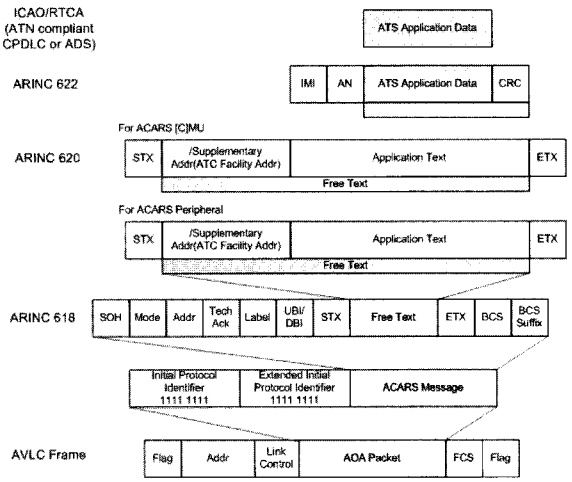


그림 12. VDL M2 전체 메시지 포맷 구성도

AOA는 탑재용의 AOA2220A 모듈과 지상용의 AOA2220G 모듈로 구분되며 AOA 모듈과 상위 운용시험장비와의 인터페이스를 담당하는 Wrapper 코드를 제작하였다. 운용시험장비에서 상위계층으로 전송되는 CPDLC, ADS 메시지 프레임은 표 4와 같다.

표 4. CPDLC/ADS-C Message Frame Format

Filed (byte)	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Center Address (7)	Length (4)	Data (n)	Suffix (1)
Def.	Ox7E	Mesg. ID	Aircraft Registration Number	ATC Center Address	Length of data	Application Data	0x0A
Bit/ Char	Bit	Char	Char	Char	Char	Char	Bit

3.3 VDL Mode 2 하드웨어 제작

3.3.1 탑재 통신장비

탑재 통신장비는 그림 13과 같이 CMU, VDR 및 안테나로 구성된다.

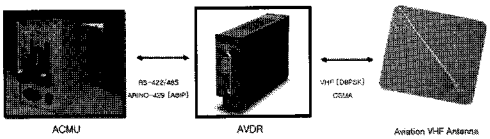


그림 13. 탑재 통신 장비 구성품

VDR은 VDL M2 칩셋이 가용하지 않으므로 FPGA를 기반으로 제작하였다. VDR은 고출력 증폭기, 117.975~137㎒의 RF 신호를 D8PSK 변복조기가 처리할 수 있도록 주파수를 상향 또는 하향 변환시키는 상하향 변환기, RF 신호를 데이터로 변조 혹은 복조하는 D8PSK 변복조기, 전체 모듈을 제어하고 CMU와 통신을 수행하는 MAC과 전원공급기로 구성되어 있다. CMU는 상용의 임베디드 컴퓨터를 구입하여 DLS, VME, AOA를 S/W로 구현하였다. VDR은 그림 14와 같이 5장의 보드로 구성되며 케이스는 항공기 탑재를 고려하여 RTCA 규격을 만족하도록 제작하였다.

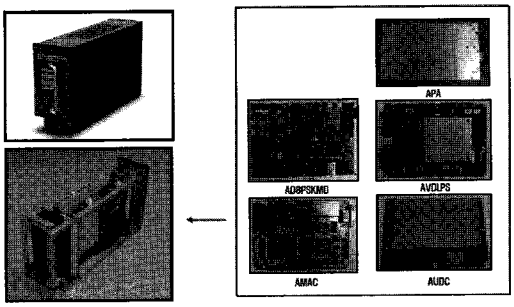


그림 14. 탑재용 VDR 외형 및 구성품 형상

3.3.2 지상 통신장비

지상 통신장비는 그림 15와 같이 데이터링크 서비스처리장치(DSP), 지상국(GS) 및 지상용 안테나로 구성된다.

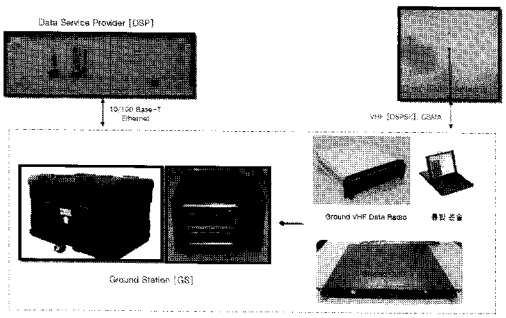


그림 15. 탑재 통신 장비 구성품

DSP는 VME, AOA 및 인터페이스 소프트웨어가 장입되는 산업용 컴퓨터이다. GS는 지상용 VDR과 DLS 기능이 포함된 Ground CMU로 구성되어 있으며, VDR의 경우에는 탑재 VDR과 기능적으로 동일하다. 그림 16은 제작된 지상용 VDR의 형상을 나타낸다. 탑재용과 지상용 안테나는 구매품을 사용하였다.

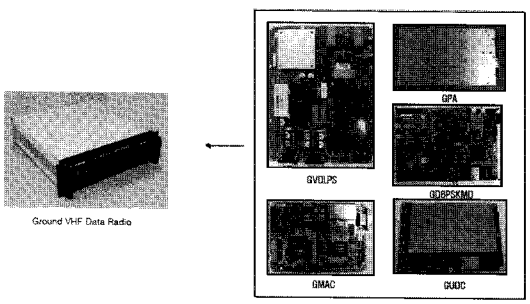


그림 16. 지상용 VDR 제작 및 내부 구성품 형상

3.3.3 운용 시험장비

운용시험장비는 AFN, CPDLC, ADS 기능을 간략히 구현하여 VDL Mode 2 시스템의 기능·성능 검증과 통합 운용시험을 위해 개발된 시험장비이다.

CPDLC는 조종사와 관제사 사이의 관제업무를 위해 데이터통신을 이용한 메시지 전송을 가능하게 하고, ADS는 항공기의 위치 및 상태 정보를 지상으로 송신하는 기능으로 감시 및 관제업무에 활용 가능한 항공교통서비스)이다. AFN은 지상과 항공기가 지원 가능한 항공교통서비스를 식별하고 접속을 기원하는 기능이다.

운용시험장비는 탑재운용시험장비(AAS)와 지상운용시험장비(GAS)로 구분되며 소프트웨어 기능 구조는 그림 17과 같다.

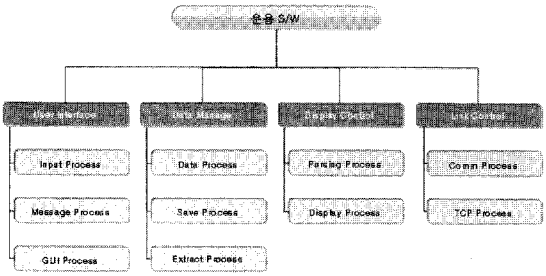


그림 17. 운용시험장비 소프트웨어 CSCI

탑재운용시험장비(AAS)는 노트북을 사용하여 CPDLC, ADS, AFN 기능을 Windows 응용프로그램으로 구현하였다.

탑재운용시험장비의 초기 화면은 시스템 설정 기능을 제공하고 하위 메뉴를 이용하여 각 서비스에 접근할 수 있다. 지상운용시험장비와의 연결을 위한 최초 접속과 CPDLC 통신은 ATC 메뉴를 통해 접근하고, ADS / Loop Test 서비스의 경우 우선 통신 접속이 완료된 후 이용 가능하다. 그림 18은 ATC통신을 위한 메인화면이다.

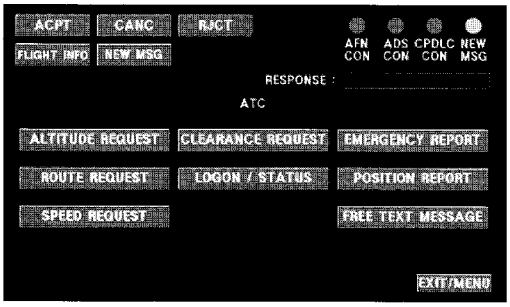


그림 18. ATC 메인 화면

운용시험장비와 CMU, DSP 장비와는 TCP/IP로 연결된다. 탑재운용시험장비의 경우 ADS 기능 구현을 위하여 항법정보를 제공할 수 있는

GPS 수신기를 연결하였다. 12채널의 수신기로 데이터는 NMEA-0183 SIRF Binary 포맷으로 GAS로 전송된다.

그림 19는 탑재 운용시험장비에서 CPDLC 기능으로 구현된 고도 요청(Altitude Request) 예시 화면이다.

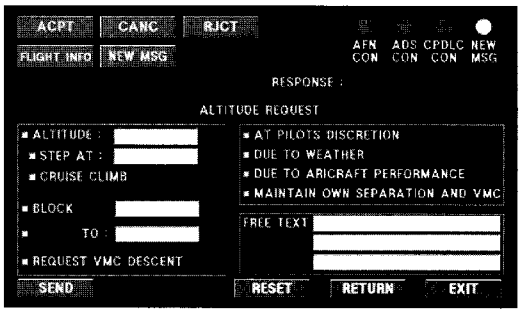


그림 19. Altitude Request 화면

지상운용시험장비 하드웨어는 19인치 랙타입 산업용 컴퓨터로 그림 20과 같이 ADS 정보를 지도상에 시현할 수 있는 콘솔에 포함되어 있다. 콘솔 상부의 디스플레이에는 ADS 정보가 시현되고, 하부의 디스플레이에는 ATC 통신(CPDLC) 정보가 표시된다.

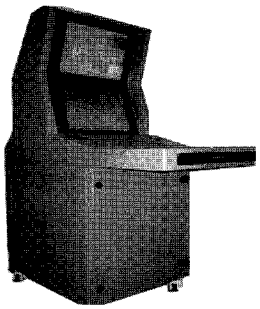


그림 20. ADS 시현 및 지상 운용시험장비용 콘솔

지상 운용시험장비의 ATC 통신용 화면 GUI 구성은 그림 21과 같다. 지상에서 탑재운용시험장비로 전송될 CPDLC 메시지의 기본 형태는 전송 메시지 선택창의 탭을 통해 구분되어 있어 관제사가 해당 메시지를 선택하면 팝업 형식의 창이 나타나며 파라미터 값을 추가하여 메시지를 완성하고 SEND 버튼을 누르면 최종 전송된다.

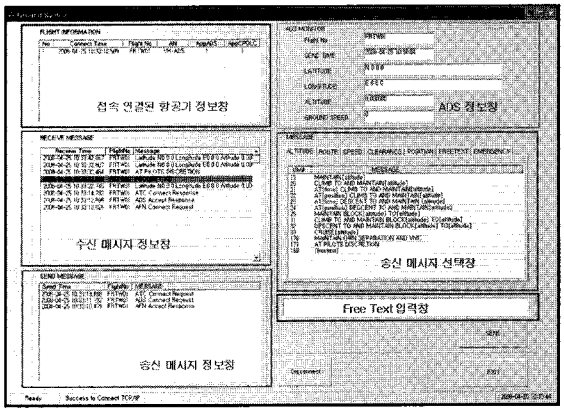


그림 21. 지상 운용시험장비 메인 화면

수신된 모든 메시지는 Downlink Message 창을 통하여 시현되고 응답이 필요한 메시지의 경우 음영으로 표시되어 관제사의 주의를 환기시키는 방식을 사용한다. 수신된 모든 메시지는 Database를 통해 백업되도록 구성되었다.

ADS 정보는 ADS 모니터 창에 정보가 텍스트로 시현되고, 지도상에 항공기의 궤적이 표시될 수 있도록 설계되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 현재 항공이동통신 기술 중에서 단기 전망으로 가장 활용성이 우수하고 기존 시설과 호환성이 유지되어 가까운 미래에 구축이 유력시 되는 VDL 모드 2 시스템의 설계 및 제작 결과를 제시하였다.

설계·제작된 VDL M2 데이터링크 시스템은 OSI 7 계층을 기준으로 물리계층, 데이터링크 계층 및 서브네트워크계층을 포함하며 탑재 통신장비와 지상 통신장비로 구성된다. 탑재 통신장비는 통신관리장치(CMU)와 VHF 송수신장치(VDR)로 이루어지며, 지상 통신장비는 데이터링크서비스처리장치(DSP)와 지상국(GS)으로 이루어진다.

또한 AOA망을 포함하여 DSP와 CMU에 장입하였다. VDL M2 전체시스템의 운용평가를 위해서 운용시험장비를 개발하였으며 CPDLC, ADS, AFN 기능을 포함하였다.

본 연구는 개발된 장비의 구성품 단위 및 운용시험장비의 기능·성능시험을 완료하였으며, 현재 인터페이스 시험을 수행하고 있는 단계에 있다. 구성품 시험결과 기본적인 기능 및 성능은 모두 규격을 만족하고 있는 것으로 확인되었으며, 향후 지상 통합시험 및 비행시험을 통해 본격적인 시험평가를 수행할 계획이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 "차세대 항공 데이터통신시스템(VHF Data Link) 개발" 연구개발사업의 연구비지원(과제번호: 05교통핵심-A03)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 배중원, 김태식, 전향식, 남기욱, "민간항공용 데이터링크 기술동향" 한국항공우주연구원 항공우주산업기술동향 4권2호, 2006, pp13-24.
2. ICAO Annex 10, "VHF air-ground digital link(VDL)" International Standards and Recommended Practices, Volume III, Part 1, Chap.6, 2000.
3. 김태식, 김인규, 배중원, 김현경, 김동민, "VDL Mode 2 기지간 항공데이터링크 설계." 한국항행학회 추계학술대회, 2007.
4. 배중원, 김태식, 김인규, 김현경, 김동민, "AOA망 환경에서 ATS 애플리케이션 구현을 위한 VDL Mode 2 데이터링크 프로토콜 설계", 항공우주시스템공학회지, 제1권 제4호, 2007, pp13-21.
5. ICAO, "Manual on VHF digital link(VDL) mode 2", Doc 9776, 2002.
6. 김현경, 김태식, 김동민, 신영숙, "CPDLC 서비스를 제공하는 VDL Mode 2 지상장비 프로토콜 설계",한국항공우주학회 추계학술발표, 2007.
7. RTCA, "Signal-in-space minimum aviation system performance standards for advanced VHF digital data communications including compatibility with digital voice techniques", DO-224A, 2000.
8. RTCA, "Minimum operational performance standards for aircraft VDL mode 2 physical, link, and network layer", DO-281, 2002.
9. ARINC, "VHF data radio", ARINC 750-4, 2004.
10. 김종만, 김태식, 김인규, 김현경, "VDL Mode-2 송수신기 성능분석 및 협대역 디지털 변조신호 생성," 한국항행학회 본문지 제11권 제1호, 2007, pp9-16.
11. 최준수, 이한성, 김태식, 김인규, 김현경, "VDL Mode-2 물리계층 설계 및 성능 분석," 한국항행학회 논문지 제11권 제1호, 2007, pp17-23.