Construction & Transportation R&D Report

항공선진화사업 최종보고서

R&D/05교통핵심A03-01

차세대 항공 데이터통신시스템 (VHF Data Link) 개발

2009. 7. 9.

주관연구기관 / 한국항공우주연구원
협동연구기관 / LIG 넥스원(주)
(주)파인텔레콤
(주)리얼타임웨이브
위탁연구기관 / 경희대학교
서울대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

항공선진화사업 최종보고서

R&D / 05교통핵심A03-01

차세대 항공 데이터통신시스템 (VHF Data Link) 개발

2009. 7. 9.

주관연구기관 / 한국항공우주연구원
협동연구기관 / LIG 넥스원㈜
/ ㈜파인텔레콤
/ ㈜리얼타임웨이브
위탁연구기관 / 경희대학교
/ 서울대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부 장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “차세대 항공 데이터통신시스템 (VHF Data Link) 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009. 7. 9 .

주관연구기관명 : 한국항공우주연구원

주관연구책임자 : 김 태 식

협동연구기관명 : LIG 넥스원(주)

협동연구책임자 : 승 대 범

협동연구기관명 : (주)파인텔레콤

협동연구책임자 : 윤 몽 한

협동연구기관명 : (주)리얼타임웨이브

협동연구책임자 : 하 경 탁

위탁연구기관명 : 서울대학교

위탁연구책임자 : 박 세 웅

위탁연구기관명 : 경희대학교

위탁연구책임자 : 김 인 석

■ 총 괄 연 구 책 임 자	/ 선임연구원	김 태 식	총괄/체계종합
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 책임연구원	김 동 민	체계관리
	/ 선임연구원	전 향 식	체계관리
	/ 선임연구원	김 인 규	VDL 하드웨어
	/ 선임연구원	배 중 원	운용시험/VDB
	/ 선임연구원	김 현 경	VDL 프로토콜
	/ 연 구 원	양 광 직	AOA/Wrapper
■ 협동연구기관 참여연구원	/ 수석연구원	승대범(LIG넥스원)	총괄
	/ 수석연구원	염철문(LIG넥스원)	시스템 총괄
	/ 책임연구원	박준현(LIG넥스원)	H/W 및 S/W
	/ 연구원	이성호(LIG넥스원)	H/W 및 S/W
	/ 수석연구원	윤몽한(파인텔레콤)	총괄
	/ 수석연구원	이동국(파인텔레콤)	RF
	/ 선임연구원	최준수(파인텔레콤)	VDR 설계/제작
	/ 선임연구원	이한성(파인텔레콤)	프로토콜 설계/코딩
	/ 선임연구원	김종만(파인텔레콤)	변복조기 설계/제작
	/ 선임연구원	한규형(파인텔레콤)	프로토콜 설계/코딩
	/ 주임연구원	신영숙(파인텔레콤)	프로토콜 설계/코딩
	/ 주임연구원	이덕형(파인텔레콤)	VDR 설계/제작
	/ 수석연구원	하경탁(리얼타임)	총괄
	/ 수석연구원	박형진(리얼타임)	시험장비 설계/제작
	/ 선임연구원	신은혜(리얼타임)	시험장비 S/W 구현

요 약 문

Ⅰ. 제 목

차세대 항공 데이터통신시스템(VHF Data Link) 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

국제민간항공기구(ICAO)의 차세대 위성항행시스템(new CNS/ATM) 전환 계획[1]에 따라 전 세계적으로 항공통신(Communication), 항법(Navigations), 감시(Surveillance) 및 항공교통관리(ATM) 분야 항행안전시설과 대응되는 항공기 탑재 시스템의 변화가 가속화되고 있다. 특히 항공통신분야에서는 공대지 데이터링크 기술을 활용한 새로운 항공교통서비스(CPDLC, FIS-B, TIS-B)가 도입되어 항공운항 안전에 기여하고 조종사와 관제사의 편의성을 대폭 향상시킬 것으로 기대되고 있다.

이미 국내에서도 ACARS 기반의 PDC (Pre-Departure Clearance), D-ATIS (Digital Automatic Terminal Information System) 서비스가 인천국제공항, 김포공항을 비롯한 총 7개의 공항에 설치되어 서비스되고 있으며 기존 음성서비스에 비할 바 없는 편리함으로 인해 조종사의 반응도 매우 좋은 것으로 평가되고 있다. 하지만 ACARS 시스템의 낮은 데이터 전송률(2400bps) 등의 한계성으로 인해 새로운 CNS/ATM 환경에 널리 사용되기에는 미흡하며, 이에 대한 대안으로 새로운 VHF Digital(Data) Link 기술표준인 VDL Mode 2 기술이 개발되어 전 세계적으로 시범 운영되고 있다.

항공기술의 보수적인 성격은 그동안 항공통신시스템 분야에서도 예외가 아니었으나, 이제 50-60년대 아날로그 기술을 탈피하여 최신의 IT 기술과 상용통신기술을 적극적으로 도입하려는 시도가 늘고 있으며 이러한 민간항공통신 환경의 변화에 주목하고 새로운 시장 참여를 모색하기 위한 과감한 투자와 노력이 필요한 시점으로 전망된다.

이에 본 연구과제에서는 VDL Mode 2 시스템의 핵심장비인 **VDL Mode 2 송**

1) 1991년 9월 제10차 ICAO 항행회의에서 기존의 항공항행시설을 위성항법(GPS 등)과 디지털 통신기술을 활용한 새로운 개념의 CNS/ATM으로 전환하기로 결의하고 ICAO 가맹국들이 차세대 국제표준시설로 승인함에 따라 ICAO 가맹국들은 본격적으로 구축계획 수립 및 연구개발 경쟁에 돌입.

수신기를 산·학·연이 협력하여 공동 연구개발함으로써 VDL 기반 기술을 획득하고 CNS/ATM 환경에 적극적으로 대처하도록 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 과제는 CNS/ATM의 통신분야에서 중추적인 역할을 담당할 데이터링크로 활용될 VDL M2 통신시스템와 관련된 국내기술을 확보하고 VDL M2송수신기를 개발하고자 아래와 같은 최종목표로 계획하였다.

○ 국제 기술표준과 규격(ICAO, RTCA)에 부합하는 항공용 VHF Data Link (VDL) Mode 2 지원 송수신기 개발

- 지상용/탑재용 VDL Mode 2 송수신기
  - VDL Mode 2 송수신기(VDR : VHF Data Radio) 개발
  - VDL M3, M4 및 VDB용도로 확장이 가능하도록 SDR(Software Defined Radio) 형태로 개발
  - 응용시스템과의 인터페이스 제공

- 운용 시험장치
  - 기능/성능/운용 시험 지원 및 점검 지원용

<표 1> VDL Mode 2 송수신기 목표성능

개발목표	세부 규격 및 연구 내용			비 고
	구분	단위	개발규격	
VDL Mode 2 송수신기 개발 (지상용 및 탑재용)	사용주파수	㎒	118~137	
	채널간격	㎑	25	
	RF 출력	W	5~30	
	수신감도	dBm	-98이하	@ BER 10^{-3}
	변복조방식	-	D8PSK	VDL Mode 2
	데이터전송률	kbps	31.5	
	다중접속방식	-	CSMA	

○ CNS/ATM 환경을 대비하여 요소기술인 VDL 분야 핵심기술 확보

- VDL 기술과 H/W가 매우 유사하고 단기 시장 수요 발생이 예상되는 VDB(VHF Data Broadcasting) 애플리케이션에의 활용을 위하여 개발 VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘을 개발함.
- VDL 시험평가 기술(운용성능 확인을 위한 비행시험 포함) 및 환경시험
- VHF 대역 전파 간섭 연구

상기와 같은 최종목표를 달성하기 위하여 아래 표와 같이 연차별 연구목표와 연구내용을 수립하였다.

<표 2> 연차별 연구목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구 내용
1차년도	▪ VDL M2 국제 표준 및 규격 분석	▪ ICAO, RTCA, ARINC 등 VDL Mode 2 관련 국제 표준 분석 ▪ VDL M3 기술 분석
	▪ VDL M2 송수신기 개념 설계	▪ VDL Mode 2 송수신기 H/W 분석 ▪ VDL Mode 2 프로토콜 분석 ▪ VHF Data Broadcasting (VDB) 알고리즘 분석 ▪ VDL Mode 2 송수신기 사양 결정
2차년도	▪ VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 기본설계/상세 설계	▪ VDL M2용 VDR, CMU 기본설계 ▪ VDL Mode 2 MAC 설계 ▪ VDL Mode 2 Subnetwork 프로토콜 설계 ▪ VDL M2용 VDR, CMU 상세설계
	▪ 시험평가 기법 및 시험장치 설계	▪ 시험평가 기법연구 ▪ 운용(Application) 시험장비 설계
	▪ VDL M3 프로토콜 연구	▪ VDL M3 Data link layer 프로토콜 연구 ▪ VDB 프로토콜 기본 설계
3차년도	▪ VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 상세설계 완료 ▪ 탑재통신장비 제작 ▪ 지상통신장비 제작 ▪ VDL M2 프로토콜 구현 ▪ 운용시험장비 제작	▪ VDL M2용 VDR, CMU 상세설계 완료 ▪ VDR, CMU 제작 ▪ 탑재 및 지상통신장비 조립 ▪ VDL Mode 2 MAC, Subnetwork 프로토콜 구현 ▪ 운용 시험장비 제작 ▪ 성능 시험장치(Testbed) 구현
	▪ 지상성능시험(I)	▪ 지상 기능 및 성능 시험
	▪ VDB프로토콜 구현 연구	▪ VDB 프로토콜 구현 연구
	▪ 지적 재산권 자료조사	▪ 항공선진국(미국, 유럽, 일본) 지적재산권(IPR) 자료 조사 ▪ 지적 재산권 대처방안 수립
4차년도	▪ VDL M2 통신시스템 수정보완	▪ 3차년도 시험결과를 기반으로 VDL M2 통신시스템 시스템 수정보완
	▪ 지상성능시험(II)	▪ 수정보완된 시스템에 대한 2차 지상시험 실시
	▪ 환경시험	▪ 환경시험(지상장비 위주로)
	▪ 비행 시험평가	▪ 국토해양부 점검용 항공기 이용한 비행 시험평가 ▪ 국토해양부 항공기 이용 불가시에는 차량탑재시험으로 대체 ▪ 공항/민항기 시스템과 호환성 시험(관련기관 협조시 수행)

Ⅳ. 연구개발결과

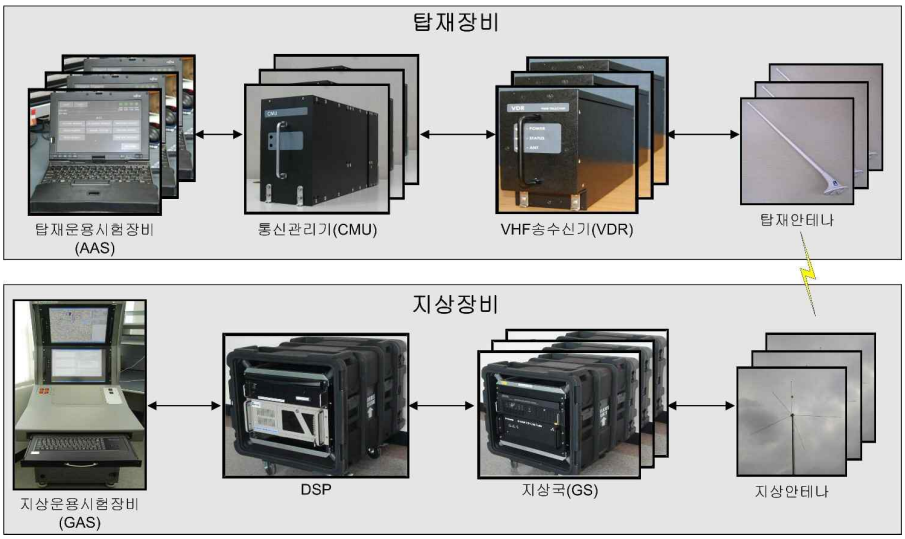
본 과제의 최종목표는 VDL M2를 지원하는 송수신기를 개발하고 CNS/ATM 환경에 대비한 VDL관련 핵심 기술을 확보하는 것으로 요약할 수 있다. 이중에서 VDM2 지원송수신기를 개발 목표를 달성하기 위해 VDL M2 데이터링크 통신시스템과 운용시험장비를 설계, 구현하였다. <그림 1>은 최종적으로 제작된 연구시제품을 보여주고 있으며, 제작된 시제품은 구성품 시험, 인터페이스시험, 1단계 지상시험, 환경시험, 2단계 지상시험, 비행시험, 공항시설 연동시험, 민항기 연동시험을 통해 <표 3>의 성능목표를 만족시키고 있음이 확

인되었다. VDL 핵심기술 확보와 관련해서는 아래와 같은 연구를 수행하였다.

○ 항공통신 기술개발 현황 연구 수행
○ VDL M3 기술 및 프로토콜 연구 수행
○ VDL M3 기술 및 프로토콜 연구 수행
○ VDB 기본설계 및 프로토콜 구현 연구
○ VHF 전파간섭 연구 수행
○ VDL관련 지적 재산권 자료 조사
○ VDL 시험평가 기술 연구 수행

<표 3> VDL M2 송수신기 성능목표 대비 연구수행 결과

항 목	개발 목표		시험결과	비고
	연구계획서	설계목표		
사용주파수	118~137	←	←	VHF송수신기
채널간격(KHz)	25	←	←	
RF출력(W)	5~30	15W이상	16W	
수신감도(dBm)	-98이하	←	-100dBm	@BER 10^{-3}
변복조방식	D8PSK	←	←	VDL M2
데이터전송률(kbps)	31.5	←	←	
다중접속방식	CSMA	CSMA (p-persist)	←	



<그림 1> 개발된 VDL M2 통신시스템 및 운용시험장비 구성도

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

VDL M2는 21세기 차세대항행시설의 통신기술로 중추적인 역할을 담당할 것으로 판단됨으로, 본 연구를 통해 확보된 핵심기술, 시험평가기술과 경험은 연구개발/시설구축시 원천기술로 활용될 것으로 기대된다. 그리고, 본 과제를 통해 개발된 지상국은 제품화를 추진하여 국내 VDL M2 데이터링크 서비스 구축시 지상국으로 활용할 계획이다. 또한, 본 연구를 통해 개발된 기술은 민간항공인프라 뿐만 아니라 그 다양한 분야에 활용이 가능하며, 특히, 군사적인 목적의 기술로도 활용도가 매우 클 것으로 판단된다. 따라서, 본 과제 수행을 통해 획득된 연구개발 결과들은 구체적으로 <표 4>와 같이 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

<표 4> 획득기술 활용방안

핵심기술 분야	확보기술	활용 계획
VDL M2 체계종합	• 항공통신 시스템의 구조 • VDL M2 데이터링크 시스템 아키텍쳐 설계 • AOA or ATN망 인터페이스 • 시스템 성능분석 • 시스템 시험평가 기술	• 항공통신 시스템 인프라 구축 기획 • 국내 항공통신망 구축 기반기술 • 감시용 데이터링크(VDL M4, UAT) 시스템 개발 기반기술 • FCS(Future Communication System) 개발시 기반기술로 활용 • 군 전술데이터링크 및 무인항공기 데이터링크 개발시 기반기술로 활용
탑재 VDR/CMU	• VDL M2데이터링크 구성품 설계기술 • 하드웨어 제작/시험평가 • SDR 설계 기술	• 항공기 개발시 통신장비 구조설계 • 국내개발 항공기 통신장비로 활용 • VDL M4, UAT 데이터링크 탑재장비 설계 • VDL M3, 4개발시 하드웨어 활용(소프트웨어만 변경)
지상 GS/DSP	• VDL M2데이터링크 지상 구성품 설계기술 • 하드웨어 제작/시험평가	• GS(지상국)는 개발종료 후 참여기업에서 **상업화 추진**, 국내시설 구축시 지상국으로 활용하고 이를 기반으로 해외 시장 진출 • DSP는 국내 DSP설립시 중앙처리장치로 활용 • 위성항법보강시스템의 송신기(VDB)로 수정 활용 • VDL M3, 4 지상장비 제작시 하드웨어 활용(소프트웨어만 변경)
운용시험장비	• 탑재/지상 운용시험장비 설계/제작/시험 기술 • CPDLC, ADS-C 응용 컨텐츠 구현 기술	• 국내 CPDLC, ADS-C 응용서비스 구축시 핵심기술로 활용 • 관제시스템의 ADS데이터 처리/현시기술로 활용

S U M M A R Y

Ⅰ. TITLE

Development of VHF Data Link Mode 2 Transceiver

Ⅱ. OBJECTIVES AND NECESSITY

ICAO (International Civil Aviation Organization) approved and promoted the transition plan to a new CNS/ATM system which is based on data link communication and GNSS technologies to prepare for the growth of 21 century's air traffics and to improve aviation safety. According to the plan, many countries have developed and implemented the CNS/ATM system in their countries and we are challenging of rapid changes in Communication, Navigation, Surveillance and Air Traffic Management system both for ground facilities and correspondent avionics in aircraft.

As a new air traffic services, CPDLC, FIS-B and TIS-B using data link technologies are introduced in aeronautical communication field and are expected to give a lot of convenience to controllers and pilots as well as to promote safety of air transportation.

In Korea, seven airports including Incheon's and Gimpo's have already provided for PDC and D-ATIS services based on ACARS system, which are very welcomed by pilot. But, ACARS has very low data rate, 2400bps and other limitations. To replace the ACARS and to use for the new CNS/ATM environment, VDL Mode 2 technology was introduced and standardized by ICAO and relevant equipment was developed in some leading countries.

Since Korea have strong IT technologies, we have good resources and capabilities to develop the CNS/ATM system. As a first step toward it, we researches basic VHF Data Link technologies and develops VDL mode 2 transceiver through this project.

Ⅲ. CONTENTS AND SCOPE IN THE 2nd PHASE

In this project, we have pursued to acquire national technology related to VDL M2 communication system which would play an important role in the field of aeronautical communication of CNS/ATM domain and to develop the transceiver of VDL M2 data link. The details of final objects of this project are described as follows.

○ To develop the transceiver cooperating with aeronautical VDL M2 data link and comply with international standards and specifications(ICAO, RTCA)

- Aircraft and ground transceiver of VDL M2
  - Development of VDL M2 transceiver(VDR : VHF Data Radio)
  - SDR(Soft Defined Radio) type capable to be extended to VDL M3, M4 and VDB
  - To support interface with application systems
- Application systems
  - To support function, performance and operation tests

<Table 1> Target Performance of VDL Mode 2 Transceiver

Development Objectives	detailed specifications and R&D contents			Notes
	Items	Unit	Specifications	
development of VDL Mode 2 transceiver (for the use of ground and aircraft)	Frequency range	㎒	118~137	
	Channel interval	㎑	25	
	RF power	W	5~30	
	Rx sensitivity	dBm	-98이하	@ BER 10^{-3}
	Modulation type	-	D8PSK	VDL Mode 2
	Data rate	kbps	31.5	
	Multiple access	-	CSMA	

○ To acquire key technology in the field of VDL, essential technology in order to prepare for CNS/ATM environments

- To develop VDB algorithm to use the developed VDL transceiver
- T&E technology for VDL and Environment test

- Study of interference of radio waves in the spectrum of VHF

To get to final objectives, we have planned yearly R&D objectivess and R&D contents as described in the <Table 2>

<Table 2> Yearly R&D objectives and main R&D contents

Fiscal Year	R&D Objectives	Main R&D Contents
1st Year	▪ Analysis of international standards and specification for VDL M2	▪ Analysis of international standards and specification for VDL M2 from ICAO, RTCA, ARINC ▪ Analysis of VDL M3 technologies
	▪ Conceptual design of the VDL M2 transceiver	▪ Analysis of VDL Mode 2 transceiver H/W ▪ Analysis of VDL Mode 2 Protocol ▪ Analysis of VHF Data Broadcasting (VDB) Algorithm ▪ Setting up the specifications for VDL Mode 2 transceiver
2nd Year	▪ PDR & CDR of Airborne/Ground VDL M2 Transceiver	▪ PDR of the VDL M2 VDR(VHF Data Radio) and CMU(Communication Management Unit). ▪ Design of the VDL M2 MAC(Media Access Controller) ▪ Protocol Design of the VDL M2 Subnetwork. ▪ CDR of the VDL M2 VDR and CMU.
	▪ Design of the Test Instruments and Test Methods	▪ Study of the test evaluation method. ▪ Design of the application Instruments.
	▪ Conceptual Design of VDL M3 Protocol and VDB	▪ Study of the VDL M3 data link protocol. ▪ PDR of the VDB protocol.
3rd Year	▪ Completion of the critical design of the aircraft stations and ground station of VDL M2 ▪ Fabrication of the aircraft stations and the ground stations ▪ Implementation of VDL M2 protocols ▪ Fabrication of Application Test Equipments	▪ Critical design of VDL M2 VDR(VHF Data Radio) and CMU(Communication Management Unit). ▪ Fabrication of VDR and CMU ▪ Implementation of MAC and Subnetwork Protocols of VDL M2 ▪ Fabrication of Application Test Equipments ▪ Implementation of the test equipments for Performance Evaluation
	▪ Ground Performance Test(I)	▪ Function and performance tests on the ground
	▪ Study on the implementation of VDB protocols	▪ Study on the implementation of VDB protocols
	▪ Survey of IPR(Intellectual Property Rights)	▪ Survey of IPR of advanced nations, USA, Europe and Japan in aviation area ▪ Establishing a countermeasure of the IPRs
4th Year	▪ Refurbishment of VDL M2 communication system	▪ Refurbishment of VDL M2 communication system based on test results of 3rd year
	▪ Ground Performance Test(II)	▪ Accomplishing the 2nd phase ground test of the refurbished system
	▪ Environment Test	▪ Environment Test (Focused on ground system)
	▪ Flight Test & Evaluation	▪ Flight test using the inspection aircraft of Minister of Land, Maritime and Transportation(MLMT) ▪ Automobile test substituted for flight test if not use the aircraft ▪ Compatibility test with airport facilities and civil aircraft

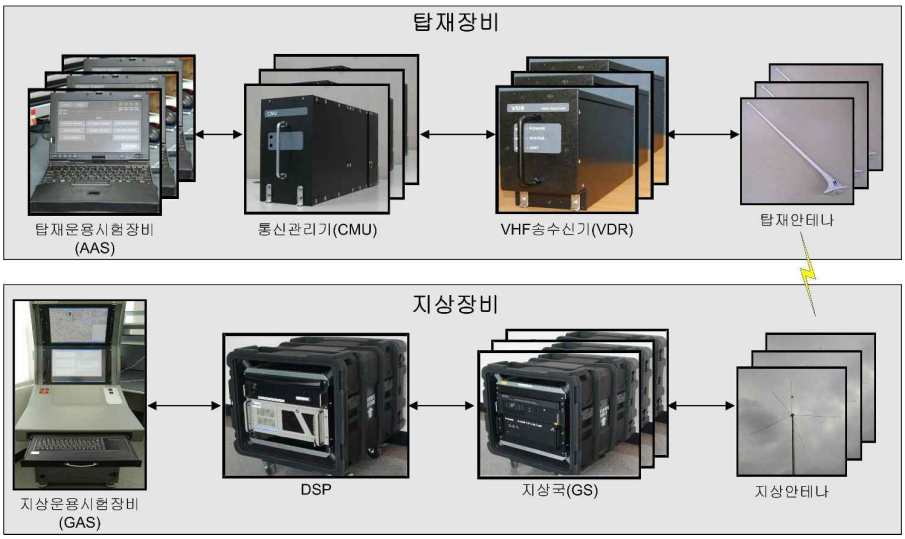
Ⅳ. RESULT

Final objectives of this project can be summarized in developing the VDL M2 transceiver and acquiring key technologies about VDL to prepare for CNS/ATM environment. First, we have designed and implemented the communication system of VDL Mode 2 Data link and the application system as illustrated in Fig. 1 which is the finally fabricated R&D prototype system. it has been verified that the system satisfies target performance described in <Table 3> through component tests , interface tests, 1st phase ground tests, environment tests, 2nd ground tests, flight tests, cooperative tests with airport facilities and civil aircraft. And also, we have studied to acquire VDL key technologies such as follows.

- ○ Accomplishing the study of R&D technology facts of Aeronautical communication
- ○ Accomplishing the study of VDL M3 technology and protocol
- ○ Accomplishing the study of VDB preliminary design and protocol implementation
- ○ Accomplishing the study of radio wave interference in VHF
- ○ Survey on IPR(Intellectual Property Rights) about VDL
- ○ Accomplishing the study of T&E technology of VDL

<Table 3> Target performance vs study result VDL M2 transceiver

Item	R&D Target		Test Result	Notes
	Proposal	Design Target		
Frequency range	118~137 MHz	←	←	VHF Transceiver
Channel interval	25KHz	←	←	
RF power	5~30W	15W min.	16W	
Rx sensitivity	-98dBm max	←	-100dBm	@BER 10^{-3}
Modulation type	D8PSK	←	←	VDL M2
Data rate(Kbps)	31.5	←	←	
Multiple access	CSMA	CSMA (p-persist)	←	



<Figure 1> Configuration of VDL M2 communication system and application system

V. Availabilities

As it is widely recognized that digital communication for air-ground communication such as VDL M2 in CNS/ATM domain will be the cornerstone of the 21st century aviation system, the core technologies, T&E Technologies and experiences acquired through this study are expected to be applied to some future R&D projects and infra establishments as basic technologies. the GS(Ground Station) Developed in this

project would be commercialized and used as the GS of ground communication infra when domestic datalink service of VDL M2 is establish in some day. And also some technologies acquired through the project are considered to be extended to various areas, especially military purposes as well as civil aviations. Therefore, the R&D results acquired in this project are considered to be utilized in the same way as following <Table 4> in detail.

<Table 4> Utilization plan of the acquired technologies

Technology field	Acquired technology	Utilization Plan
System Integration of VDL M2	• System structure of aeronautical communication • System architecture design of VDL M2 data link • Interface with AOA or ATN • Performance analysis of the system • T&E technology of the system	• Implementation planning of aeronautical communication system infra • Essential technology of implementing national aeronautical communication network • Essential technology of system development of surveillance data link • Utilization as essential technology in developing FCS(Future Communication System) • Utilization as essential technology in developing military tactical data link and UAV data link
Aircraft VDR/CMU	• LRU design technology of VDL M2data link • Hardware fabrication and T&E • SDR design Technology	• Structure design of communication system in developing an aircraft. • Use as communication system at a domestic developed aircraft • airborne equipment design of VDL M4, UAT data link. • Use as VDL M3, 4 hardware
Ground GS/DSP	• Ground component design of VDL M2 data link • Hardware fabrication and T&E	• Commercialization of GS and entry in domestic market in implementing national infra and in international market in the basis of national market experience. • Using DSP as a central processing system in national DSP establishment. • Use as VDB of Augmentation system of satellite navigation. • Use as hardware of VDL M3, 4 hardware
Application system	• Design, fabrication, test technology of ground application system • Implementation technology of CPDLC, ADS-C application contents	• Use as key technology in implementing national CPDLC, ADS-C application service. • Use as technology of ADS data processing and displaying of ATC system

목 차

제 출 문 ····· i
요 약 문 ····· iii
목 차 ····· xix
표 목차 ····· xxiii
그림목차 ····· xxix
약 어 ····· xli

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1

제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 2
1. 기술적 측면 ····· 2
2. 경제·산업적 측면 ····· 6
3. 사회·문화적 측면 ····· 7

제 3 절 연구개발의 범위 ····· 9
1. 연구개발의 최종목표 ····· 9
2. 연차별 연구개발 목표 및 내용 ····· 11

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 12

제 1 절 국내 기술동향 ····· 15
제 2 절 국외 기술동향 ····· 17
제 3 절 기술동향 분석 결론 및 전망 ····· 18

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 23

제 1 절 개 요 ····· 23
1. 데이터링크 현황 ····· 29
2. 항공데이터링크의 활용(Content Applications) ····· 42
3. 단기 전망 ····· 48
4. 중장기 전망 ····· 51

제 2 절 VDL M2 시스템 구현 ····· 54
1. 기술 현황 ····· 54
2. 시스템 설계 ····· 63

제 3 절 VDL M2 소프트웨어 설계구현 ····· 100
1. VDL M2 소프트웨어 개요 ····· 100
2. 소프트웨어 기본 설계 ····· 101
3. 소프트웨어 상세 설계 ····· 119
4. 소프트웨어 구현 ····· 132

제 4 절 AOA 및 VME & Application 인터페이스 구현 ····· 138
1. AOA(ACARS Over AVLC) 개요 ····· 138
2. KARI Wrapper 인터페이스 설계 ····· 149
3. KARI Wrapper 구현 ····· 178

제 5 절 VDL M2 구성품 개발 ····· 190
1. 탑재송수신기(VDR) 개발 ····· 190
2. 탑재통신관리기(CMU) 개발 ····· 231
3. 지상국(GS) 개발 ····· 278
4. 데이터링크 서비스 처리기(DSP) 개발 ····· 385

제 6 절 VDL M2 운용시험장비 개발 ····· 417
1. 운용시험장비 개요 ····· 417
2. 탑재운용시험장비(AAS) 설계 ····· 420
3. 지상운용시험장비(GAS) 설계 ····· 435
4. 인터페이스 설계 ····· 466
5. 운용시험장비 구성 하드웨어 ····· 473
6. 운용시험장비 시험평가 ····· 476

제 7 절 시험평가 ····· 479
1. 시험평가 개요 및 계획 ····· 479
2. 프로토콜 분석 시험 ····· 483
3. 인터페이스 시험 ····· 495
4. 1단계 지상시험 ····· 499
5. 환경시험 및 전자기 간섭시험 ····· 503
6. 2단계 지상시험 ····· 548
7. 비행시험 ····· 555

8. 공항시설 연동시험 ····· 570
9. 민항기 연동시험 ····· 576
10. 시험평가 결과 종합 ····· 584

제 8 절 지적재산권 조사 ····· 587

제 9 절 VDB 프로토콜 구현 연구 ····· 609
1. 지역 위성항법보강시스템(GBAS) 기술 ····· 610
2. VDB 프로토콜 구조 ····· 615
3. VDB 상용 장비 인터페이스 ····· 628
4. VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘 설계 ····· 641

제 10 절 VDL M2 프로토콜 핵심기술 연구 ····· 648
1. ACARS 와 ATN 에 대한 연구 ····· 648
2. ATN 실제 적용 방안 ····· 661

제 11 절 전파간섭영향 연구 ····· 678
1. VHF Data Radio의 구성 ····· 678
2. VDL Mode 2 물리 계층 송신부 ····· 679
3. VDL Mode 2 물리 계층 수신부 ····· 693

제 12 절 VDL M3 기술 연구 ····· 704
1. VDL M3 기술 개요 ····· 704
2. VDL M3 프로토콜 분석 ····· 705

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에서의 기여도 ····· 731

제 1 절 연구내용 및 목표달성도 ····· 731
제 2 절 관련분야에의 기여도 ····· 748
1. 항공통신분야의 기여도 ····· 748
2. 파급효과 및 전망 ····· 753

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 758

제 1 절 연구시제품 활용 ····· 758
1. 항공통신 및 운용체계 기술개발 Test-Bed로 활용 ····· 760
2. 항공관제장비 개발 Test-Bed로 활용 ····· 760

3. 연구시제품의 활용전략 ····· 761

제 2 절 획득기술 활용 ····· 762
1. 항공통신 및 운용체계 기술개발 기반기술로 활용 ····· 763
2. 지상국 실용화 ····· 765
3. 획득기술 활용 추진 전략 ····· 766

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 770

제 1 절 호주 ADS(Aviation Data System)사 기술 협력 ····· 770
1. 호주 ADS(Aviation Data System)사 개요 ····· 770
2. 호주 ADS사와의 기술 자문 협력 ····· 771

제 2 절 VDL M2 및 CNS/ATM 관련 해외 기술 동향 분석 ····· 792
1. EUROCONROL 기술 정보 ····· 792
2. Airservice Australia의 CNS/ATM 프로젝트 현황 ····· 793
3. ARINC의 ATN/VDL 시스템 현황 ····· 794
4. SITA의 VHF 서비스 현황 ····· 796

제 3 절 VDL M2 관련 국제 표준 규격 ····· 798

제 7 장 참고문헌 ····· 800

표 목 차

<표 1-2-1-1> CNS/ATM 핵심 구성요소 비교 ····· 5
<표 1-2-1-2> 통신 및 감시기능에 활용 가능한 현존 데이터링크 기술들 ····· 6
<표 1-3-1-1> VDL Mode 2 송수신기 목표성능 ····· 10
<표 2-1> ACARS를 통해 전달되는 OOOI 메시지의 종류와 내용 ····· 13
<표 2-3-1> VHF Data Link 기술별 특징 비교 ····· 20
<표 2-3-2> 국내기술 수준 분석 ····· 22
<표 3-1-1> VDL Mode 2 송수신기 목표성능 ····· 26
<표 3-1-2> 연차별 연구 수행내용 ····· 27
<표 3-1-1-1> 항공서비스 주파수 할당 현황 ····· 32
<표 3-1-1-2> 항공데이터링크의 서비스 특성 ····· 34
<표 3-1-1-3> VDL Mode별 주요 특성 요약 ····· 36
<표 3-1-2-1> ACARS를 통해 전달되는 OOOI 메시지의 종류와 내용 ····· 45
<표 3-1-2-2> 항공통신 응용분야 요약 ····· 47
<표 3-2-1-1> ACAR와 VDL M2 특성 비교 ····· 57
<표 3-2-2-1> VDL M2 데이터링크 통신장비 설계 및 구현 참고규격 ····· 67
<표 3-2-2-2> 운용시험장비 및 AOA네트워크 연동 참고규격 ····· 68
<표 3-2-2-3> 환경시험 및 전자기 간섭시험 참고규격 ····· 68
<표 3-2-2-4> VDL M2 개발규격서 ····· 69
<표 3-2-2-5> MAC 시스템 파라미터 ····· 72
<표 3-2-2-6> AVLC 프레임 포멧 ····· 73
<표 3-2-2-7> 페이딩마진 대비 링크의 신뢰도 ····· 89
<표 3-2-2-8> 송수신기 및 채널 특성 ····· 91
<표 3-2-2-9> VDL M2 상향링크(Uplink) 버짓 ····· 93
<표 3-2-2-10> VDL M2 하향링크 버짓 ····· 94
<표 3-2-2-11> 개발장비의 구성품간 인터페이스 특징 ····· 97
<표 3-3-2-1> MAC 파라미터 ····· 110
<표 3-3-2-2> DLS 파라미터 ····· 115
<표 3-3-2-3> VME 파라미터 ····· 119
<표 3-3-3-1> 링크 설립과 핸드오프 과정에 대한 참조 절 ····· 124
<표 3-3-3-2> AVLC Specific Options Parameter Values ····· 125
<표 3-3-3-3> 항공기에서 수신 가능한 XID 프레임 ····· 127
<표 3-4-2-1> AFN Message Frame Format ····· 152
<표 3-4-2-2> CPDLC/ADS-C Message Frame Format ····· 152
<표 3-4-2-3> ATS Message Frame Format ····· 152

<표 3-4-2-4> Message Frame Format Description ····· 153
<표 3-4-2-5> 전송 메시지 ID 정의 ····· 154
<표 3-4-2-6> 프리미티브와 파라미터 정의 ····· 166
<표 3-4-2-7> CPDLC Disconnect Request Reason Values ····· 171
<표 3-4-2-8> ADS-C Disconnect Request Reason Values ····· 174
<표 3-5-1-1> 초단파 디지털 송수신기 (VDR) 설계 사양 ····· 191
<표 3-5-1-2> 고출력 증폭기(PA) 설계 사양 ····· 192
<표 3-5-1-3> 고출력 증폭기(PA) Budget 시뮬레이션 ····· 193
<표 3-5-1-4> 상하향 주파수 변환기(UDC) 설계 사양 ····· 194
<표 3-5-1-5> D8PSKMD의 복조기의 요구 Es/No ····· 195
<표 3-5-1-6> D8PSK 변조기 설계 사양 ····· 197
<표 3-5-1-7> D8PSK 복조기 설계 사양 ····· 197
<표 3-5-1-8> 차동 부호화 표 ····· 203
<표 3-5-1-8> FPGA Address 매핑 ····· 216
<표 3-7-2-10> 탑재 VDR 시험결과 ····· 218
<표 3-5-2-1> XID Frame 의 종류 ····· 240
<표 3-5-2-2> VDR이 CMU에게 전송하는 프로토콜 오류 메시지 ····· 270
<표 3-5-2-3> CMU 시험항목 및 시험결과 ····· 274
<표 3-5-3-1> 지상용 고출력 증폭기(GPA) 설계 사양 ····· 280
<표 3-5-3-2> 고출력 증폭부에 사용된 증폭기 특성 ····· 283
<표 3-5-3-3> 지상용 상하향 주파수 변환기(GUDC) 설계 사양 ····· 285
<표 3-5-3-4> GD8PSKMD의 복조기 특성 ····· 287
<표 3-5-3-5> 하향변환기의 혼변조 요구조건 ····· 288
<표 3-5-3-6> D8PSK 변조기 설계 사양 ····· 295
<표 3-5-3-7> D8PSK 복조기 설계 사양 ····· 296
<표 3-5-3-8> 신드롬 디코딩 테이블 ····· 299
<표 3-5-3-9> RS 부호기에 필요한 계수의 이진 표현 ····· 302
<표 3-5-3-10> 수신기 최소 입력 신호 레벨 ····· 312
<표 3-5-3-11> 지상용 초단파 데이터 전원공급기(GVDLPS) 설계 사양 ····· 320
<표 3-5-3-12> PFE300-28의 특성 ····· 321
<표 3-5-3-13> CBS502412의 특성 ····· 324
<표 3-5-3-14> PXD20-24S05 특성 ····· 325
<표 3-5-3-15> FPGA Address 매핑 ····· 330
<표 3-5-3-16> GVDR과 GCMU간의 오류 메시지 ····· 338
<표 3-5-3-17> GVDR이 GCMU에 전송하는 프로토콜 오류 메시지 ····· 366
<표 3-7-2-18> 인터페이스 시험결과 ····· 369
<표 3-5-3-19> 지상용 통신관리장치 시험항목 및 시험결과 ····· 382

<표 3-5-4-1> XID Frame 의 종류 ····· 398
<표 3-5-4-2> DSP 구성품 시험 항목 및 결과 ····· 416
<표 3-6-2-1> Altitude Downlink Request Message 종류 ····· 426
<표 3-6-2-2> Altitude Uplink Request Message 구성 ····· 427
<표 3-6-2-3> Speed Downlink Request Message 구성 ····· 428
<표 3-6-2-4> Speed Uplink Request Message 구성 ····· 428
<표 3-6-2-5> Emergency Downlink Request Message 구성 ····· 431
<표 3-6-2-6> Emergency Uplink Request Message 구성 ····· 431
<표 3-6-2-7> Position Downlink Request Message 구성 ····· 432
<표 3-6-3-1> map_tile.xls의 map50 sheet의 표 ····· 457
<표 3-6-4-2> 인터페이스 종류 및 연동 방법 ····· 466
<표 3-6-4-3> AFN Message Format ····· 466
<표 3-6-4-4> ADS/ATC - Message Format ····· 467
<표 3-6-4-5> AVLC Frame Test Message Format ····· 467
<표 3-6-4-6> Message Format 구성 요소 ····· 468
<표 3-6-4-7> 전송 Message Header 종류 (Prefix 종류) ····· 469
<표 3-6-4-8> AFN Message의 Data 구조 ····· 469
<표 3-6-4-9> ADS Message Data 구조 ····· 470
<표 3-6-4-10> CPDLC Message Data 구조 ····· 471
<표 3-6-6-1> 운용시험장비 Requirement Compliance Checklist (RCC) ····· 476
<표 3-7-1-1> 시험항목 요약 ····· 480
<표 3-7-1-2> 비행시험 추진 현황 종합 ····· 481
<표 3-7-1-3> 비행시험 추진 현황 종합(계속) ····· 482
<표 3-7-2-1> 탑재 장비 프로토콜 분석 시험결과 ····· 485
<표 3-7-2-2> 지상 장비 프로토콜 분석 시험결과 ····· 490
<표 3-7-3-1> 인터페이스 시험결과 ····· 497
<표 3-7-4-1> 1단계 지상시험 결과 종합 ····· 502
<표 3-7-5-1> AVDR 커넥터 목록 ····· 531
<표 3-7-5-2> 시험용 케이블 목록 ····· 531
<표 3-7-5-3>환경시험 결과 요약 (지상장비) ····· 545
<표 3-7-5-4> 환경시험 결과 요약 (탑재장비) ····· 546
<표 3-7-5-5> 환경시험 결과 요약 (지상장비) ····· 547
<표 3-7-5-6>환경시험 결과 요약 (탑재장비) ····· 547
<표 3-7-6-1> 2단계 지상시험 추진현황 ····· 550
<표 3-7-6-2> 2단계 지상시험-지상국 설치 후 시험 결과 종합 ····· 551
<표 3-7-6-3> 2단계 지상시험-저속주행시험 결과 종합 ····· 552
<표 3-7-6-4> 2단계 지상시험-고속주행시험 결과 종합 ····· 553

<표 3-7-7-1> 비행시험 관련 항공기 탑재장비의 특징 ····· 560
<표 3-7-7-2> 2단계 지상시험-고속주행시험 결과 종합 ····· 563
<표 3-7-8-1> 항공시설 연동시험 일정 ····· 570
<표 3-7-9-1> 민항기 연동시험 일정 ····· 578
<표 3-7-10-1> 개발목표 대비 시험결과 종합 ····· 584
<표 3-7-10-2> 탑재송수신기에 대한 해외장비와의 성능비교 ····· 585
<표 3-7-10-3> 지상국에 대한 해외장비와의 성능비교 ····· 586
<표 3-9-2-1> 불요 방사(Unwanted emission) 기준 ····· 617
<표 3-9-2-2> 인접한 채널에서 전송되는 신호의 출력 ····· 618
<표 3-9-2-3> 데이터 인코딩(Encoding) ····· 619
<표 3-9-2-4> 버스트 타이밍 ····· 622
<표 3-9-2-5> 버스트 데이터의 내용 ····· 623
<표 3-9-2-6> GBAS 메시지 블록 구조 ····· 623
<표 3-9-2-7> 메시지 블록 헤더의 구조 ····· 624
<표 3-9-2-8> VHF 데이터 방송 메시지 ····· 624
<표 3-9-2-9> Type 1 pseudo-range corrections message ····· 625
<표 3-9-2-10> Type 2 GBAS-related data message ····· 626
<표 3-9-2-11> Type 4 FAS data message ····· 627
<표 3-9-2-12> Final approach segment (FAS) data block ····· 627
<표 3-9-3-1> VDB 수신기 (RE9009A) 주요 특징 ····· 628
<표 3-9-3-2> VDB 송신기 (EM9009A) ····· 629
<표 3-9-3-3> RM9009A 송신기 J5 Data 커넥터 신호 정의 ····· 631
<표 3-9-3-4> RE9009A 수신기 J5 Data 커넥터 신호 정의 ····· 634
<표 3-9-3-5> VDB 통신제어장치 성능 사양 ····· 637
<표 3-9-4-1> VDB 통신 프로토콜 포맷 설계 ····· 642
<표 3-9-4-2> VDB 송신기 입력 메시지 ····· 643
<표 3-9-4-3> VDB 송신기 출력 메시지 ····· 643
<표 3-9-4-4> VDB 수신기 입력 메시지 ····· 645
<표 3-9-4-5> VDB 수신기 출력 메시지 ····· 645
<표 3-9-4-6> Message Status 필드 정의 ····· 646
<표 3-10-2-1> TCP 와 TP4 의 기능 비교 ····· 664
<표 3-10-2-2> CLNP 와 IP 기능 비교 ····· 666
<표 3-11-1-1> VDR 시스템의 물리 계층 성능 요구 조건 ····· 679
<표 3-11-2-1> 주파수에 따른 송신부 스퓨리어스 방사 ····· 680
<표 3-11-2-2> 인접채널 출력 ····· 680
<표 3-11-2-3> 물리 계층 성능 요구 조건(송신부). ····· 681
<표 3-11-2-4> 12-stage로 구성할 수 있는 LFSR ····· 682

<표 3-11-2-5> 상·하향 변환기 변환 방식의 장단점 ····· 689
<표 3-11-3-1> 물리 계층 성능 요구 조건(수신부) ····· 693
<표 3-11-3-2> 대역에 포함된 신호에 의한 혼변조(수신부) ····· 694
<표 3-11-3-3> 수신기에 최소 신호(-98 dBm)가 인가될 경우 신호 대 잡음비 ··· 701
<표 3-11-3-4> 수신기에 최대 신호(-7 dBm)가 인가될 경우 신호 대 잡음비 ··· 701
<표 3-11-3-5> FM 방송 주파수가 인가될 경우 최소 운용 성능 ····· 702
<표 4-1-1> 연구개발 계획 대비 연구수행 결과 ····· 731
<표 4-1-2> VDL M2 송수신기 성능목표 대비 연구수행 결과 ····· 732
<표 4-1-3> 연차별 연구목표 및 연구내용 ····· 733
<표 4-1-4> 1차년도 연구목표 대비 연구결과 ····· 734
<표 4-1-5> 2차년도 연구목표 대비 연구결과 ····· 735
<표 4-1-6> 3차년도 연구목표 대비 연구결과 ····· 736
<표 4-1-7> 4차년도 연구목표 대비 연구결과 ····· 737
<표 4-1-8> 항공선진화 성과지표 달성도 ····· 738
<표 4-1-9> 항공선진화 성과지표에 따른 SW등록 ····· 739
<표 4-1-10> 항공선진화 성과지표에 따른 알고리즘개발 ····· 739
<표 4-1-11> 항공선진화 성과지표에 따른 논문게재 ····· 740
<표 4-1-12> 항공선진화 성과지표에 따른 논문발표 ····· 740
<표 4-1-13> 항공선진화 성과지표에 따른 시제품 제작 ····· 742
<표 4-1-14> 항공선진화 성과지표에 따른 국제협력 활동 ····· 743
<표 4-1-15> 항공선진화 성과지표에 따른 특허출원 ····· 744
<표 4-1-16> 항공선진화 성과지표에 따른 산학연협력활동 ····· 744
<표 4-1-17> 항공선진화 성과지표에 따른 시험평가 목록 ····· 746
<표 4-2-1> 공지간 항공통신 응용분야 및 응용 애플리케이션 요약 ····· 749
<표 4-2-2> 과제 수행 전·후 항공통신분야 국내 기술 수준 비교 ····· 752
<표 5-1-1> 연구 시제품 활용 추진전략 ····· 762
<표 5-2-1> 획득기술 활용방안 ····· 764
<표 5-2-2> 항공통신 인프라 및 운용체계 기술개발 활용 추진 전략 ····· 767
<표 5-2-3> 지상국 실용화 추진전략 ····· 768
<표 5-2-4> 기타 분야 활용 추진전략 ····· 768
<표 6-3-1-1> VDL M2 관련 국제 표준 규격 (1/2) ····· 798
<표 6-3-1-2> VDL M2 관련 국제 표준 규격 (2/2) ····· 799

그 림 목 차

<그림 1-2-1-1> 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM) 개념도 ····· 2
<그림 1-2-1-2> 특정 낮 시간대에 미국공역을 비행중인 항공기(5500여대) ····· 3
<그림 1-2-1-3> 항공통신 시스템의 변화 (기존/현재 → 미래) ····· 4
<그림 1-2-1-4> 공지간 감시에서의 데이터링크 통신의 활용 ····· 5
<그림 1-2-3-1> 증가하는 항공기 지연현상 ····· 7
<그림 1-2-3-2> 항공교통시스템의 변화 ····· 8
<그림 2-1> ACARS 메시지의 예 ····· 12
<그림 2-1-1> PDC 절차 ····· 15
<그림 2-1-2> 국내 PDC/D-ATIS 구축 현황(한국공항공사 자료) ····· 16
<그림 2-1-3> 국내 ACARS 데이터통신망 구축 현황(한국공항공사 자료) ····· 16
<그림 2-2-1> 유럽에서 구축 중인 VDL Mode 2 지원 지상국 ····· 18
<그림 3-1-1> CNS/ATM개념 및 발전 방향 ····· 23
<그림 3-1-2> 항공통신시스템의 변화 ····· 24
<그림 3-1-3> ATN에서 기지간 서브네트워크 구성 ····· 25
<그림 3-1-0-4> 개발장비 구성도 ····· 29
<그림 3-1-1-1> 항공통신 주파수 할당 ····· 30
<그림 3-1-1-2> 항공통신망과 항공데이터링크 ····· 31
<그림 3-1-1-3> ACARS 통신서비스 영역(2007년, SITA사) ····· 33
<그림 3-1-1-4> VDL M2 통신서비스 영역(2007년, SITA사) ····· 33
<그림 3-1-1-5> 기지간 데이터링크 및 항공통신망의 개념도 ····· 35
<그림 3-1-1-6> ADS-B용 데이터링크 특징 ····· 42
<그림 3-1-2-1> 항공통신 서비스 ····· 43
<그림 3-1-1-2> AOC분야에서의 아날로그 음성 대비 Data Link의 활용 증가 ··· 44
<그림 3-1-2-3> 비행단계별 항공사에서 운용중인 메시지(AOC메시지) ····· 46
<그림 3-1-2-4> 유럽의 통신분야 기술개발 로드맵 ····· 48
<그림 3-1-2-5> 항공통신의 현황 및 발전전망 ····· 49
<그림 3-2-1-1> ATN 프로토콜 구조에서의 VDL 서브네트워크 ····· 55
<그림 3-2-1-2> 핸드오프 개념 ····· 58
<그림 3-2-1-3> 공대지 데이터링크 서비스 ····· 60
<그림 3-2-1-4> 통신제어장치와 VHF 데이터송수신장치 구성 및 인터페이스 ···· 62
<그림 3-2-2-1> OSI 모델과 비교한 VDL M2 프로토콜의 계층 구조 ····· 64
<그림 3-2-2-2> VDL M2의 스택 구성과 인터페이스 ····· 65
<그림 3-2-2-3> VDL M2 탑재장비 설계 ····· 65
<그림 3-2-2-4> VDL M2 지상시스템 설계 ····· 66
<그림 3-2-2-5> 일반적인 End-to-End 시스템간의 연결절차 ····· 66

<그림 3-2-2-6> 물리계층 기능흐름도 ····· 70
<그림 3-2-2-7> 물리계층 데이터처리 절차 ····· 70
<그림 3-2-2-8> 수신에서 송신으로 절환 타이밍 ····· 71
<그림 3-2-2-9> 송신에서 수신으로 절환 타이밍 ····· 71
<그림 3-2-2-10> 데이터링크 계층의 구조 ····· 72
<그림 3-2-2-11> 제어필드와 AVLC 프레임 종류 ····· 74
<그림 3-2-2-12> XID 프레임 종류 ····· 74
<그림 3-2-2-13> VDL과 AOA 비교 ····· 76
<그림 3-2-2-14> AOA 및 상위계층 Packet Format ····· 76
<그림 3-2-2-15> ARINC 618과 ARINC 620간의 인터페이스 개념 ····· 77
<그림 3-2-2-16> AFN 연결 절차 ····· 78
<그림 3-2-2-17> CPDLC 연결 절차 ····· 78
<그림 3-2-2-18> ADS 연결 개념 ····· 79
<그림 3-2-2-19> 지구 곡률반경을 고려한 전파경로 ····· 80
<그림 3-2-2-20> 프레즈넬 영역과 전파 특성 ····· 81
<그림 3-2-2-21> 200nm 운용반경에 대한 전파경로 분석 ····· 82
<그림 3-2-2-22> 200nm 운용시 다중경로 발생지역에 대한 확대 ····· 83
<그림 3-2-23> 디바이스 연결모델 ····· 86
<그림 3-2-2-24> TM시스템의 수신단의 이득 및 손실 구성도 ····· 87
<그림 3-2-2-25> M-ary DPSK에 대한 Eb/N0 대 BER ····· 90
<그림 3-2-2-26> 개발장비 시스템 구성도 및 인터페이스 현황 ····· 96
<그림 3-2-2-27> 개발장비의 운용개념도 ····· 97
<그림 3-2-2-28> 구현된 VDL M2 통신시스템의 구성도 ····· 98
<그림 3-2-2-29> 지상장비 구성품간 기능 구성도 ····· 98
<그림 3-2-2-30> 탑재장비 구성품간 기능 구성도 ····· 99
<그림 3-3-1-1> 지상 DSP 소프트웨어 구조 ····· 101
<그림 3-3-1-2> GS 소프트웨어 구조 ····· 101
<그림 3-3-2-1> Data 링크 계층에 대한 전체 개요도 ····· 103
<그림 3-3-2-2> Function Flow Diagram ····· 108
<그림 3-4-1-1> AOA Interface Block Diagram ····· 138
<그림 3-4-1-2> AVLC and AOA Frame Format ····· 139
<그림 3-4-1-3> CPDLC Data Stack Block Diagram ····· 140
<그림 3-4-1-4> AOA Downlink Message Format ····· 141
<그림 3-4-1-5> AOA Uplink Message Format ····· 142
<그림 3-4-1-6> AOA Downlink Process ····· 144
<그림 3-4-1-7> AOA Uplink Process ····· 147
<그림 3-4-2-1> KARI Wrapper와 AOA 데이터 링크에 대한 전체 개념도 ····· 150

<그림 3-4-2-2> 항공기 탑재 KARI Wrapper 기능 흐름도 ····· 157
<그림 3-4-2-3> 지상 ATC센터 KARI Wrapper 기능 흐름도 ····· 162
<그림 3-4-3-1> 항공기 탑재용 AOA 모듈 모니터링 함수 ····· 179
<그림 3-4-3-2> 항공기 탑재용 운용프로그램 데이터 모니터링 함수 순서도 ···· 180
<그림 3-4-3-3> AFN Downlink Function ····· 181
<그림 3-4-3-4> ADSC Downlink Function ····· 182
<그림 3-4-3-5> ADSC Disconnect Request Function ····· 183
<그림 3-4-3-6> CPDLC Downlink Function ····· 184
<그림 3-4-3-7> CPDLC Disconnect Request Function ····· 185
<그림 3-4-3-8> Get_N1 Parameter Function ····· 186
<그림 3-4-3-9> ATS Downlink Function ····· 187
<그림 3-4-3-10> AOA Module Monitoring Function Flowchart (Ground Station) ·· 188
<그림 3-4-3-11> SOCKET Monitoring Function Flowchart (Ground Station) ·· 189
<그림 3-5-1-1> 초단판 디지털 송수신기(VHF Digital Radio) 구성도 ····· 191
<그림 3-5-1-2> 고출력 증폭기 상세 구성도 ····· 193
<그림 3-5-1-3> 상하향 주파수변환기 블럭도 ····· 194
<그림 3-5-1-4> D8PSK 변복조기 전체 구성도 ····· 198
<그림 3-5-1-5> D8PSK 변조기 상세구성도 ····· 199
<그림 3-5-1-6> 스크램블러의 구조 ····· 202
<그림 3-5-1-7> Absolute Phase Encoding ····· 203
<그림 3-5-1-8> Raised Cosine 필터의 기저 대역 주파수 응답 ····· 205
<그림 3-5-1-9> 디지털 업 컨버터의 구조 ····· 205
<그림 3-5-1-10> 이미지 제거용 저역 통과 필터 ····· 206
<그림 3-5-1-11> D8PSK 복조기 상세구성도 ····· 207
<그림 3-5-1-12> Undersampling and Frequency Translation Between Nyquist Zones ·· 208
<그림 3-5-1-13> Antialiasing Filter for Undersampling ····· 208
<그림 3-5-1-14> 정합된 경우의 비트오율 ····· 210
<그림 3-5-1-15> 비 정합된 경우의 비트오율 ····· 210
<그림 3-5-1-16> 주파수 오프셋이 50Hz 일 경우 ····· 211
<그림 3-5-1-17> 주파수 오프셋이 100 Hz 일 경우 ····· 211
<그림 3-5-1-18> 주파수 오프셋이 200 Hz 일 경우 ····· 211
<그림 3-5-1-19> 주파수 오프셋이 300 Hz 일 경우 ····· 211
<그림 3-5-1-20> MAC 소프트웨어 구성 ····· 214
<그림 3-5-1-21> FPGA 내부 시스템 구성 ····· 214
<그림 3-5-1-22> MAC 작동 과정의 예제 ····· 215
<그림 3-5-2-1> 탑재 통신 관리기(CMU) 형상 ····· 231
<그림 3-5-2-2> 탑재 통신 관리기(CMU) ····· 232

<그림 3-5-2-3> CMU 소프트웨어 구성 ····· 232
<그림 3-5-2-4> VME Block Diagram ····· 233
<그림 3-5-2-5> VME와 DLS의 링크 성립 관계 ····· 235
<그림 3-5-2-6> 핸드오프 중일때 VME, DLS 링크 성립 관계 ····· 235
<그림 3-5-2-7> VME Function Flow Diagram ····· 236
<그림 3-5-2-8> LME State Diagram ····· 237
<그림 3-5-2-9> 타이머 리스트 ····· 238
<그림 3-5-2-10> 타이머 리스트 삽입 예제 ····· 238
<그림 3-5-2-11> XID 프레임 형식 ····· 240
<그림 3-5-2-12> DLS 소프트웨어 설계 구조 ····· 245
<그림 3-5-2-13> DL_DATA.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조 · 247
<그림 3-5-2-14> DL_XID.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조 ····· 251
<그림 3-5-2-15> Function Flow Diagram Send Received Data From LME to VDR ·· 253
<그림 3-5-2-16> Function Flow Diagram Send Received ····· 257
<그림 3-5-2-17> Primitive Flow ····· 260
<그림 3-5-2-18> VDR과 CMU사이의 Primitive Block Diagram ····· 267
<그림 3-5-2-19> 시험 준비 ····· 273
<그림 3-5-3-1> 지상용 초단파 데이터 송수신기 구성도 ····· 279
<그림 3-5-3-2> 지상용 고출력 증폭기(GPA) 구성도 ····· 281
<그림 3-5-3-3> 바이어스 종류 ····· 281
<그림 3-5-3-4> 송/수신 스위치 구성도 ····· 283
<그림 3-5-3-5> 지상용 고출력 증폭기 내부 형상 ····· 284
<그림 3-5-3-6> 25Watt 출력 스펙트럼 (D8PSK 변조) ····· 284
<그림 3-5-3-7> 고출력 증폭기의 스퓨리어스 방사 특성 (송신) ····· 284
<그림 3-5-3-8> 지상용 상, 하향 주파수변환기(GUDC) 블록도 ····· 286
<그림 3-5-3-9> 하향 주파수 변환기 상세구성도 ····· 288
<그림 3-5-3-10> 가변 감쇄기의 감쇄특성 ····· 289
<그림 3-5-3-11> 전압 검출에 따른 감쇄율(αRF) ····· 290
<그림 3-5-3-12> 상향 주파수 변환기 상세구성도 ····· 291
<그림 3-5-3-13> 주파수 합성부 상세구성도 ····· 292
<그림 3-5-3-14> 지상용 상,하향 주파수 변환기 상세구성도 ····· 293
<그림 3-5-3-15> 하향변환기 대역통과필터 특성 ····· 294
<그림 3-5-3-16> 위상잡음 -73dBc@1kHz offset ····· 294
<그림 3-5-3-17> 위상잡음 -96.7dBc@10kHz offset ····· 294
<그림 3-5-3-18> 하향변환기 동작영역 (-87dBm 입력시 70MHz IF 출력 스펙트럼) ·· 294
<그림 3-5-3-19> 하향변환기 동작영역 (-8dBm 입력시 70MHz IF 출력 스펙트럼) ·· 294
<그림 3-5-3-20> 상하향변환기 사진 ····· 295

<그림 3-5-3-21> 상하향변화기 내부사진 ····· 295
<그림 3-5-3-22> D8PSK 변복조기 구성도 ····· 297
<그림 3-5-3-23> 변조기 베이스 밴드 프로세서 내부 구성도 ····· 298
<그림 3-5-3-24> Header FEC 시뮬레이션 ····· 301
<그림 3-5-3-25> RS(n, k) Encoder 구조 ····· 301
<그림 3-5-3-26> RS(255,249) 부호기의 구조 ····· 302
<그림 3-5-3-27> 길이필드에서 열의 개수 및 총 심벌 개수 계산 ····· 304
<그림 3-5-3-28> 스크램블러의 구조 ····· 304
<그림 3-5-3-29> 차동 부호화 표 ····· 305
<그림 3-5-3-30> Absolute Phase Encoding ····· 305
<그림 3-5-3-31> Raised Cosine 필터의 기저 대역 주파수 응답 ····· 306
<그림 3-5-3-32> 디지털 업 컨버터의 구조 ····· 307
<그림 3-5-3-33> 복조기 베이스 밴드 프로세서 내부 구성도 ····· 308
<그림 3-5-3-34> Undersampling and Frequency Translation Between Nyquist Zones ·· 309
<그림 3-5-3-35> Antialiasing Filter for Undersampling ····· 309
<그림 3-5-3-36> 디지털 다운 컨버터의 구조 ····· 310
<그림 3-5-3-37> 정합된 경우의 비트오율 ····· 311
<그림 3-5-3-38> Reed-Solomon FEC 블록 다이어그램 ····· 313
<그림 3-5-3-39> 프리앰블 검출기의 구조 ····· 314
<그림 3-5-3-40> SNR에 따른 상관 값(주파수 오프셋 = 0) ····· 315
<그림 3-5-3-41> SNR에 따른 상관 값(주파수 오프셋 = 960Hz) ····· 315
<그림 3-5-3-42> 잔류 위상 추정기의 구조 ····· 316
<그림 3-5-3-43> 잔류 위상 오차 추정기의 MSE 성능 ····· 317
<그림 3-5-3-44> Early-late symbol timing 복원기의 구조 ····· 318
<그림 3-5-3-45> 심벌 타이밍 복원기 구조 ····· 318
<그림 3-5-3-46> 버스트 모드 AGC Loop 블록도 ····· 319
<그림 3-5-3-47> 지상용 초단파 데이터 전원공급기(GVDLPS)상세 구성도 ····· 320
<그림 3-5-3-48> PFE300-28 Reference회로 ····· 321
<그림 3-5-3-49> CBS502412 Reference 회로 ····· 323
<그림 3-5-3-50> PXD20-24S05 Reference 회로 ····· 325
<그림 3-5-3-51> 지상전원공급기 (GVDLPS) 제품 형상 ····· 326
<그림 3-5-3-52> GMAC 시스템 구성 ····· 327
<그림 3-5-3-53> GVDR 소프트웨어 구성 ····· 328
<그림 3-5-3-54> FPGA 내부 시스템 구성 ····· 328
<그림 3-5-3-55> MAC 작동 과정의 예제 ····· 329
<그림 3-5-3-56> 프로세서 인터페이스 블록 ····· 332
<그림 3-5-3-57> TX Bit Stuffing 블록 ····· 333

<그림 3-5-3-58> RX Bit Stuffing 블록 ····· 334
<그림 3-5-3-59> 모뎀 인터페이스 블록 ····· 335
<그림 3-5-3-60> GVDR과 GCMU사이의 Primitive Block Diagram ····· 335
<그림 3-5-3-61> 제작된 MAC 하드웨어 ····· 340
<그림 3-5-3-62> GCMU 하드웨어 시스템 구성 ····· 341
<그림 3-5-3-63> GCMU 소프트웨어 설계 구조 ····· 342
<그림 3-5-3-64> DL_DATA.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조 · 344
<그림 3-5-3-65> DL_XID.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조 ····· 347
<그림 3-5-3-66> Function Flow Diagram Send Received Data From DSP to GVDR ··· 350
<그림 3-5-3-67> Function Flow Diagram Send Receive Data From GVDR to DSP ·· 354
<그림 3-5-3-68> DLS와 DSP사이의 Primitive Block Diagram ····· 357
<그림 3-5-3-69> GVDR과 GCMU사이의 Primitive Block Diagram ····· 364
<그림 3-5-4-1> DSP 하드웨어 형상 ····· 385
<그림 3-5-4-2> DSP 소프트웨어 구성 ····· 386
<그림 3-5-4-3> VME Block Diagram ····· 387
<그림 3-5-4-4> VME와 DLS의 링크 성립 관계 ····· 388
<그림 3-5-4-5> 핸드오프 과정 ····· 389
<그림 3-5-4-6> 핸드오프중일 때 VME와 DLS의 링크 성립 관계 ····· 390
<그림 3-5-4-7> VME Function Flow Diagram ····· 391
<그림 3-5-4-8> LME State Diagram ····· 392
<그림 3-5-4-9> 타이머 리스트 ····· 393
<그림 3-5-4-10> 타이머 리스트 삽입 예제 ····· 393
<그림 3-5-4-11> XID 파라미터 형식 ····· 398
<그림 3-5-4-12> Primitive Flow ····· 406
<그림 3-5-4-13> Primitive Flow ····· 412
<그림 3-6-1-1> 운용시험장비와 VDL M2 개발시스템 구성도 ····· 417
<그림 3-6-1-2> CPDLC 접속 절차 및 운용 ····· 418
<그림 3-6-1-3> ADS 접속 절차 및 운용 ····· 418
<그림 3-6-1-4> AFN 접속 절차 및 운용 ····· 418
<그림 3-6-1-5> PDC 접속 및 운용 절차 ····· 419
<그림 3-6-1-6> 운용소프트웨어 소프트웨어모듈 구성도 ····· 419
<그림 3-6-2-1> AAS 시작 화면 ····· 421
<그림 3-6-2-2> AAS - 설정(Configuration) 화면 ····· 422
<그림 3-6-2-3> AAS ATC Main 화면 ····· 423
<그림 3-6-2-4> AAS - Logon / Status 화면 ····· 424
<그림 3-6-2-5> AAS - Altitude Request 화면 ····· 425
<그림 3-6-2-6> AAS - Speed Request 화면 ····· 427

<그림 3-6-2-7> AAS - Clearance Request 화면 ····· 429
<그림 3-6-2-8> AAS - Emergency Report 화면 ····· 430
<그림 3-6-2-9> AAS - Free Text Message 화면 ····· 432
<그림 3-6-2-10> AAS - AVLC Frame Test 화면 ····· 433
<그림 3-6-2-11> AAS - Loop Test 화면 ····· 434
<그림 3-6-3-1> GAS 시작(Start) 화면 ····· 436
<그림 3-6-3-2> GAS 설정(Configuration) 화면 ····· 436
<그림 3-6-3-3> 설정 화면 - Database 설정 ····· 437
<그림 3-6-3-4> 설정 화면 - 연결 DSP 서버 및 ADS 주기 설정 ····· 437
<그림 3-6-3-5> 설정 화면 - ADS 정보 Display 서버 설정 ····· 438
<그림 3-6-3-6> GAS ATC Main 화면 ····· 439
<그림 3-6-3-7> 접속 항공기의 비행정보 표시창 ····· 439
<그림 3-6-3-8> GAS - Receive Message 목록창 ····· 440
<그림 3-6-3-9> GAS - Send Message 목록창 ····· 441
<그림 3-6-3-10> ADS Monitor 정보 표시 ····· 441
<그림 3-6-3-11> CPDLC Message 전송 List ····· 442
<그림 3-6-3-12> 통신 데이터 Error Count 및 Free Text 전송 ····· 443
<그림 3-6-3-13> PDC Test 화면 ····· 444
<그림 3-6-3-14> GAS - AVLC Frame Test 화면 ····· 445
<그림 3-6-3-15> Loop Test Frame ····· 446
<그림 3-6-3-16> ADS-B 데이터 및 궤적도시 S/W 구동 화면 ····· 449
<그림 3-6-3-17> 무채색/채색 지도 표시 ····· 450
<그림 3-6-3-18> UDP 상태 도시 화면 ····· 451
<그림 3-6-3-19> 상태 바 ····· 451
<그림 3-6-3-20> [파일] 메뉴 ····· 452
<그림 3-6-3-21> [편집] 메뉴 ····· 452
<그림 3-6-3-22> [위치지정] 메뉴 ····· 453
<그림 3-6-3-23> 위치 설정 화면 ····· 453
<그림 3-6-3-24> 비행 구역 등록 화면 ····· 454
<그림 3-6-3-25> [분석] 메뉴 ····· 454
<그림 3-6-3-26> [보기] 메뉴 ····· 454
<그림 3-6-3-27> GPS 윈도우 보기 창 ····· 455
<그림 3-6-3-28> 환경설정 창 ····· 455
<그림 3-6-3-29> 이미지 파일의 경로 예 ····· 457
<그림 3-6-3-30> 고도 정보 디렉토리 구성 ····· 461
<그림 3-6-3-31> 고도 정보 파일 이름에 관한 설명 ····· 461
<그림 3-6-3-32> 데이터 구조 ····· 462

<그림 3-6-5-1> AAS 하드웨어 - 노트북 ····· 473
<그림 3-6-5-2> AAS 하드웨어 - GPS 수신기 ····· 473
<그림 3-6-5-3> AAS 하드웨어 연결 ····· 474
<그림 3-6-5-4> GAS 하드웨어 ····· 475
<그림 3-7-1-1> 시험평가 항목 도출을 위한 RCC 예제 ····· 479
<그림 3-7-2-1> 탑재장비 프로토콜 시험 형상 ····· 483
<그림 3-7-2-2> 탑재장비 프로토콜 시험 형상 ····· 483
<그림 3-7-3-1> 인터페이스 시험 구성도 ····· 496
<그림 3-7-4-1> 1차 지상시험 형상 ····· 500
<그림 3-7-4-2> 1단계 지상시험(2차) 장면 ····· 500
<그림 3-7-5-1> 고온시험 장비설치 및 연결도 ····· 503
<그림 3-7-5-2> 고온저장 시험 온도그래프 ····· 505
<그림 3-7-5-3> 고온작동시험 온도그래프 ····· 506
<그림 3-7-5-4> 저온시험 장비설치 및 연결도 ····· 507
<그림 3-7-5-5> 저온저장 및 저온작동시험 온도그래프 ····· 508
<그림 3-7-5-6> 습도시험 장비설치 및 연결도 ····· 509
<그림 3-7-5-7> 습도시험 그래프 ····· 510
<그림 3-7-5-8> 고온시험 장비설치 및 연결도 ····· 511
<그림 3-7-5-9> 고온저장 및 짧은 고온작동시험 온도그래프 ····· 512
<그림 3-7-5-10> 고온작동시험 온도그래프 ····· 514
<그림 3-7-5-11> 저온시험 장비설치 및 연결도 ····· 515
<그림 3-7-5-12> 저온저장 및 저온작동시험 온도그래프 ····· 516
<그림 3-7-5-13> 온도변화시험 그래프 ····· 517
<그림 3-7-5-14> 고도시험 그래프 ····· 519
<그림 3-7-5-15> 습도시험 그래프 ····· 520
<그림 3-7-5-16> GS 축정의 ····· 521
<그림 3-7-5-17> 진동시험 구성도 (X,Y축) ····· 522
<그림 3-7-5-18> 진동시험 구성도 (Z축) ····· 522
<그림 3-7-5-19> 시험 프로파일 ····· 523
<그림 3-7-5-20> 기능시험 구성도 ····· 524
<그림 3-7-5-21> AVDR 축정의 ····· 525
<그림 3-7-5-22> AVDR진동시험 구성도 (X,Y축) ····· 526
<그림 3-7-5-23> AVDR 진동시험 구성도 (Z축) ····· 526
<그림 3-7-5-24> 시험 프로파일 ····· 528
<그림 3-7-5-25> 전원선의 시험한계치 ····· 529
<그림 3-7-5-26> 신호선의 시험한계치 ····· 530
<그림 3-7-5-27> CE 시험구성도 ····· 532

<그림 3-7-5-28> 시험장비 연결도 ····· 533
<그림 3-7-5-29> CS 시험의 간섭 신호 레벨 ····· 534
<그림 3-7-5-30> CS 시험의 간섭 신호 레벨(그래프) ····· 534
<그림 3-7-5-31> 일반적인 CS 시험구성도 ····· 536
<그림 3-7-5-32> CS 시험장비 교정 ····· 537
<그림 3-7-5-33> RE시험의 임계치 ····· 539
<그림 3-7-5-34> 안테나 위치결정 ····· 540
<그림 3-7-5-35> 복수 안테나 위치 ····· 541
<그림 3-7-5-36> RE 시험장비 설치도 ····· 541
<그림 3-7-5-37> RS 시험 한계치 ····· 543
<그림 3-7-6-1> 2단계 지상시험을 위한 지상국 설치 후 동작확인 ····· 548
<그림 3-7-6-2> 차량탑재 저속주행시험 ····· 549
<그림 3-7-6-3> 차량탑재 고속 주행시험 ····· 549
<그림 3-7-6-4> 2단계 지상시험 장면 ····· 550
<그림 3-7-6-5> 연구소주변 및 호남고속도로 주행시험 링크상태 (2009.3.29) ··· 554
<그림 3-7-6-6> 대청댐 주변 주행시험 링크 상태(2009. 4. 2~3) ····· 554
<그림 3-7-6-7> 연구소 주변 주행시험 링크 상태(2009. 4. 15) ····· 555
<그림 3-7-6-8> 대전 월드컵경기장 주변 주행시험 링크상태(2009. 4. 15) ····· 555
<그림 3-7-7-1> 비행시험을 위한 비행항로 계획 ····· 557
<그림 3-7-7-2> 전파 차단이 없는 최소 비행고도 ····· 557
<그림 3-7-7-3> 탑재장비 패킹 및 연결도 ····· 558
<그림 3-7-7-4> 탑재장비 장착 및 비행검사용 항공기 ····· 559
<그림 3-7-7-5> 지상통신장비 및 안테나 설치 ····· 561
<그림 3-7-7-6> 지상국 설치 위치(김포공항 항행표준센터) ····· 562
<그림 3-7-7-7> 1차(2009.4.19) 비행시험 비행경로 ····· 564
<그림 3-7-7-8> 1차 비행시험 통신상태 및 통달거리 ····· 564
<그림 3-7-7-9> 해수면 기준 전파 회절손실이 없는 최소고도 및 실제 비행고도(1차 비행시험) · 565
<그림 3-7-7-10> 비행거리에 따른 비행속도(1차 비행시험) ····· 565
<그림 3-7-7-11> 수신신호전력 대 프레임오율(FER) ····· 566
<그림 3-7-7-12> 프레임오율(FER)과 BER간의 상관관계 ····· 566
<그림 3-7-7-13> 비행거리에 따른 Uplink 프레임오율(FER) (1차 비행시험) ···· 567
<그림 3-7-7-14> 비행거리에 따른 Downlink 프레임오율(FER) (1차 비행시험) · 567
<그림 3-7-7-15> 2차(2009. 4. 23) 비행시험 비행 경로 ····· 568
<그림 3-7-7-16> 2차 비행시험 통신상태 및 통달거리 ····· 569
<그림 3-7-8-1> PDC 메시지 전달 순서 ····· 571
<그림 3-7-8-2> 공항시설(PDC) 연동 시험 구성도 ····· 572
<그림 3-7-8-3> 공항시설(PDC) 연동 시험 절차도 ····· 573

<그림 3-7-8-4> 링크상에서 데이터 송수신 상태 확인 결과 ····· 575
<그림 3-7-8-5> 한국공항공사의 PDC처리장치 화면 ····· 576
<그림 3-7-8-6> 한국공항공사의 PDC처리장치 시험 장면 ····· 576
<그림 3-7-9-1> 대한항공 항공기와의 연동시험 구성도 ····· 577
<그림 3-7-9-2> KAL 여객기와 연동시험 장비 설치 장면 ····· 578
<그림 3-7-9-3> MCDU화면 ····· 579
<그림 3-7-9-4> 민항기 연동시험 현장실사 촬영 ····· 579
<그림 3-7-9-5> 대한항공 항공기와의 연동시험 구성도 ····· 580
<그림 3-7-9-6> 링크상에서 데이터 송수신 상태 확인 결과 ····· 582
<그림 3-7-9-7> 대한항공기 CLD 수신결과 출력물 스캔자료 ····· 583
<그림 3-7-9-8> 대한항공기 PDC연동시험 시 GAS 시험결과 화면 ····· 583
<그림 3-9-1-1> GBAS용 항공기탑재장비 MMR (자료: Rockwell Collins사) ··· 609
<그림 3-9-1-2> GBAS 서비스 개념도 (자료: 미국 FAA) ····· 611
<그림 3-9-1-3> GBAS 시스템 구성도 ····· 612
<그림 3-9-1-3> GBAS Sigal-in-Space 인터페이스 개요도 ····· 614
<그림 3-9-2-4> D8PSK 방식 데이터 변조기의 예시 ····· 619
<그림 3-9-2-5> TDMA 타이밍 구조 ····· 621
<그림 3-9-3-1> VDB 수신기 (RE9009A) ····· 628
<그림 3-9-3-2> VDB 송신기 (EM9009A) ····· 629
<그림 3-9-3-3> VDB 송신기 (EM9009A) 후면 패널부 ····· 629
<그림 3-9-3-4> VDB 송신기 (EM9009A) 전면 패널부 ····· 630
<그림 3-9-3-5> VDB 수신기 (RE9009A) 후면 패널부 ····· 632
<그림 3-9-3-6> VDB 수신기 (RE9009A) 후면 패널부 ····· 632
<그림 3-9-3-7> GBAS 통신제어장치 ····· 637
<그림 3-9-3-8> GBAS 통신제어장치 후면 패널부 ····· 637
<그림 3-9-3-9> GBAS 통신제어장치 전면 패널부 ····· 638
<그림 3-9-3-10> VDB 메시지 전송시험을 위한 시스템 구성도 ····· 639
<그림 3-9-3-11> 탑재시스템 GUI 환경 ····· 640
<그림 3-9-3-12> 지상시스템 GUI 환경 ····· 640
<그림 3-10-1-1> Protocol Stack 비교 ····· 648
<그림 3-10-1-2> ACARS 라우팅 개념도 ····· 650
<그림 3-10-1-3> ATN 네트워크 요소 ····· 654
<그림 3-10-1-4> ATN 라우팅 개념도 ····· 657
<그림 3-10-2-1> ATN 과 TCP/IP 구조 비교 ····· 662
<그림 3-10-2-2> TCP/IP ⇔ TP4/CLNP (Airborne Gateway) ····· 672
<그림 3-10-2-3> XPORT Switch ····· 674
<그림 3-10-2-4> IP SNDCF ····· 675

<그림 3-10-2-5> ATN over IPv6 ····· 676
<그림 3-10-2-6> TCP/IPv6 를 그대로 사용하는 ATN 네트워크 ····· 677
<그림 3-11-1-1> VHF Data Radio 시스템의 구성 ····· 679
<그림 3-11-2-1> Preamble 신호 발생 기능을 ADS 시뮬레이션하기 위한 블록 다이어그램 · 682
<그림 3-11-2-2> SwitchSPDT의 입력 신호 ····· 684
<그림 3-11-2-3> SwitchSPDT의 이상적인 출력 신호 ····· 685
<그림 3-11-2-4> -3dB 손실이 발생하고 격리도가 20 dB인 경우의 SwtichSPDT 출력 신호 · 685
<그림 3-11-2-5> 메시지 인코딩 블록 다이어그램 ····· 686
<그림 3-11-2-6> 변조 회로도 ····· 687
<그림 3-11-2-7> 인코드된 데이터 ····· 687
<그림 3-11-2-8> 필터의 유무에 따른 D8PSK의 Constellation Diagram ····· 687
<그림 3-11-2-9> Raised Cosine Filter의 Roll-off factor에 따른 BER 변화. ····· 688
<그림 3-11-2-10> 상향 변환기 구성도 ····· 689
<그림 3-11-2-11> 각각의 노드에서의 이득 ····· 690
<그림 3-11-2-12> 각각의 노드에서의 출력 전력 ····· 690
<그림 3-11-2-13> 각각의 노드에서의 잡음지수 ····· 690
<그림 3-11-2-14> 각각의 노드에서의 IIP3 ····· 690
<그림 3-11-2-15> 각각의 노드에서의 CIMD ····· 691
<그림 3-11-2-16> 국부 발진기의 위상 잡음 ····· 691
<그림 3-11-2-17> 최종 출력 ····· 691
<그림 3-11-2-18> 송신 모드에서의 스퓨리어스 방사 측정 결과 ····· 692
<그림 3-11-2-19> 송신 모드에서의 스퓨리어스 방사 측정 결과 ····· 692
<그림 3-11-3-1> VDL Mode 2의 하향 변환기 구성도 ····· 695
<그림 3-11-3-2> VDL Mode 2의 상·하향 변환기 ····· 695
<그림 3-11-3-3> 각각의 노드에서의 이득 ····· 696
<그림 3-11-3-4> 각각의 노드에서의 잡음지수 ····· 696
<그림 3-11-3-5> 각각의 노드에서의 IIP3 ····· 696
<그림 3-11-3-6> 최소 신호가 인가되었을 때 출력 전력 ····· 696
<그림 3-11-3-7> 최대 신호가 인가되었을 때 출력 전력 ····· 697
<그림 3-11-3-8> 각각의 노드에서의 잡음 신호 ····· 697
<그림 3-11-3-9> 대역에 포함된 신호에 의한 혼변조 시뮬레이션 결과 ····· 698
<그림 3-11-3-10> 수신 모드에서 스퓨리어스 방사 측정 결과 ····· 699
<그림 3-11-3-11> D8PSK 복조 회로도. ····· 700
<그림 3-11-3-12> $E_b/N_o = 16$ dB 일 경우 Eye Diagram ····· 700
<그림 3-11-3-13> E_b/N_o에 따른 BER ····· 701
<그림 3-11-3-14> 제작된 D8PSK 변·복조기 측정화면 ····· 702
<그림 3-11-3-15> 1차 믹서 통과 후 ····· 703

<그림 3-11-3-16> 두 번째 필터 통과 후 ····· 703
<그림 3-11-3-17> 최종 출력 ····· 703
<그림 3-12-1-1> VDL M3 운용개념 예 ····· 704
<그림 3-12-2-1> VDL M3 프레임 및 슬롯 구성 ····· 705
<그림 3-12-2-2> Synchronization sequence 구성 ····· 717
<그림 4-2-1> 비행단계별 데이터링크 애플리케이션 ····· 748
<그림 4-2-2> CPDLC 시스템 예시 ····· 750
<그림 4-2-3> CPDLC 도입의 효과 ····· 750
<그림 5-1-1> 제작된 연구시제품 구성도 ····· 759
<그림 5-1-2> 연구시제품 구성품의 기능 분할 ····· 759
<그림 5-2-3> 국내 CNS/ATM 연구개발 로드맵 ····· 760
<그림 5-1-4> 항공통신 데이터링크를 이용한 항공관제 운용개념 ····· 761
<그림 6-1-1-1> MVDL 외장형 시스템과 ACARS 이동형 장비 ····· 770
<그림 6-1-1-2> Mini VDR ····· 771
<그림 6-1-2-1> 기술자문 계약 내용 (1/3) ····· 775
<그림 6-1-2-2> 기술자문 계약 내용 (2/3) ····· 776
<그림 6-1-2-3> 기술자문 계약 내용 (3/3) ····· 777
<그림 6-1-2-4> ADS에 검토 의뢰한 DLS 순서도 (샘플) ····· 778
<그림 6-1-2-5> DLS 순서도에 대한 ADS 검토 의견 (샘플) ····· 779
<그림 6-1-2-6> ADS 사에 검토 의뢰한 VME 상태 천이표 (샘플) ····· 780
<그림 6-1-2-7> VME 상태 천이표에 대한 ADS사 검토 의견 (샘플) ····· 780
<그림 6-1-2-8> RCC 초안과 ADS사 검토 의견 ····· 781
<그림 6-1-2-9> KARI ADS사간 질의 응답서 (표지) ····· 783
<그림 6-2-3-1> ARINC ATN/VDL 개발 진행 현황 ····· 795
<그림 6-2-3-2> ARINC AOA Traffic ····· 795
<그림 6-2-4-1> Worldwide VHF AIRCOM coverage ····· 796
<그림 6-2-4-2> Worldwide VDL AIRCOM coverage ····· 797
<그림 6-2-4-3> Europe VDL frequency coverage ····· 797

약 어

AAC	Airlines Administrative Communications
AAS	Airborne Application System
ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ACARS	Aircraft Communications, Addressing and Reporting System
ACP	Aeronautical Communication Panel
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance-Contract
AEEC	Airlines Electronic Engineering Committee
AFN	Air Traffic Services Facilities Notification* (FANS)
AMCP	Aeronautical Mobile Communication Panel
AMSS	Aeronautical Mobile Satellite Services
AN	Aircraft Registration Number
ANLE	Airport Network and Location Equipment
AOA	ACARS Over AVLC
AOC	Airline Operational Communications
APC	Aeronautical Passenger Communications
AS	Aircraft Station
ASDE	Airport Surface detection Equipment
ASIP	AVLC Simple Interface Protocol
ATC	Air-Traffic Control
ATM	Air-Traffic Management
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
ATS	Air Traffic Services
AVLC	Aviation VHF Link Control
BCS	Block Check Sequence
BER	Bit Error Rate
CAA	Civil Aviation Authorities
CMU	Communication Management Unit
CNS/ATM	Communication, Navigation, Surveillance / Air-Traffic Management
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communications
CSC	Common Signaling Channel
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
D8PSK	Differential 8 Phase Shift Keying

D-ATIS	Digital Automatic Terminal Information System
DBI	Downlink Block Identifier
DSP	Datalink Service Processor
DSP	Datalink Service Provider
EANPG	European Air Navigation Planning Group
ES	Extended Squitter
FAA	Federal Aviation Administration
FANS	Future Air Navigation System
FCS	Future Communication System
FCS	Future Communication Study
FCS	Frame Check Sequence
FER	Frame Error Rate
FIS-B	Flight Information Service - Broadcast
FIR	Flight Information Region
FL	Flight Level
GA	General Aviation
GAS	Ground Application System
GBAS	Ground Based Augmentation System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRAS	Ground-Based Regional Augmentation System
GS	Ground Station
GSIF	Ground Station Information
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ILS	Instrument Landing System
ISO	International Standards Organisation
ITU	International Telecommunications Union
LME	Link Management Entity
LOS	Line-Of-Sight
LRU	Line Replaceable Unit
MAC	Media Access Control
MLS	Microwave Landing System
MSN	Message Sequence Number
NDB	Non-Directional Beacon
NOTAM	Notice to Airmen
OOOI	Out, Off, On, In
OSI	Open Systems Interconnection
PECT	Peer Entity Contact Table

PDC	Pre-Departure Clearance
PSR	Primary Surveillance Radar
RSS	Receiving Signal Strength
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SARPs	Standards and Recommended Practices
SATS	Small Aircraft Transportation System
SBAS	Space/Satellite Based Augmentation System
SDR	Software Defined Radio
SOH	Start Of Header
SSR	Secondary Surveillance Radar
STX	Start of Text
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TIS-B	Traffic Information Service - Broadcast
UAT	Universal Access Transceiver
UDI	Uplink Block Identifier
UIR	Upper Flight Information Region
VDB	VHF Data Broadcasting
VDR	VHF Data Radio
VME	VDL Management Entity
VOR/DME,	VHF Omni-directional Ranging / Distance Measurement Equipment

Table of Contents

Letter ····· i
Summary ····· iii
Table of Contents ····· xix
Table Directory ····· xxiii
Picture Directory ····· xxix

Chapter 1. Research Overview ····· 1

Section 1. Research Objectives ····· 1
Section 2. Research Necessity ····· 2
1. Technical Aspect ····· 2
2. Economical & Industrial Aspect ····· 6
3. Social & Cultural Aspect ····· 7

Section 3. Research Scope ····· 9
1. Final Objectives ····· 9
2. Yearly Contents and Scope ····· 11

Chapter 2. Nationwide/Worldwide Technology Trends ····· 12

Section 1. Nationwide Technology Trends ····· 15
Section 2. Worldwide Technology Trends ····· 17
Section 3. Conclusion of Trend Analysis and Prospect ····· 18

Chapter 3. Research Contents and Outcome ····· 23

Section 1. Introduction ····· 23
1. Current Facts of Aeronautical Data Links ····· 29
2. Content Applications of Aeronautical Data Link ····· 42
3. Near-Term Prospect ····· 48
4. Long-Term Prospect ····· 51

Section 2. System Design of VDL M2 ····· 54
1. Current Technology Facts ····· 54

2. System Design ····· 63

Section 3. VDL M2 Software Design ····· 100
1. Introduction to VDL M2 Software ····· 100
2. Software Preliminary Design ····· 101
3. Software Critical Design ····· 119
4. Software Implementation ····· 132

Section 4. Critical Design and Implementation of AOA IF SW ····· 138
1. Introduction to AOA(ACARS Over AVLC) ····· 138
2. KARI Wrapper Interface Design ····· 149
3. Implementation of KARI Wrapper ····· 178

Section 5. VDL M2 Hardwares ····· 190
1. Development of VDR(VHF Data Radio) ····· 190
2. Development of CMU(Communication Management Unit) ····· 231
3. Development of GS(Ground System) ····· 278
4. Development of DSP(Datalink Service Processor) ····· 385

Section 6. Application System ····· 417
1. Introduction to Application System ····· 417
2. Aircraft Application System Design ····· 420
3. Ground Application System Design ····· 435
4. Interface Design ····· 466
5. Application System Hardwares ····· 473
6. Application System Level T&E ····· 476

Section 7. Test and Evaluation(T&E) ····· 479
1. Introduction of Test and Evaluation ····· 479
2. Protocol Test ····· 483
3. Interface Test ····· 495
4. The 1nd Phase of Ground Test ····· 499
5. Environment Test and Electromagnetic Interference Test ····· 503
6. The 2nd Phase of Ground Test ····· 548
7. Flight Test ····· 555
8. PDC Test with Airport Facilities ····· 570
9. PDC Test with KAL Aircraft ····· 576

10. Result of T&E ····· 584

Section 8. Survey of Intellectual Property Rights(IPR) ····· 587

Section 9. VDB Protocol Implementation Study ····· 609
1. Local GBAS Technologies ····· 610
2. VDB Protocol Structure ····· 615
3. VDB Equipment Interface ····· 628
4. VDB Algorithm Design ····· 641

Section 10. Core Technology Study on VDL M2 Protocols ····· 648
1. Study on ACARS and ATN ····· 648
2. ATN Application Methods in Practice ····· 661

Section 11. Study on CNS/ATM Electromagnetic Interference effects 678
1. VHF Data Radio Structure ····· 678
2. VDL Mode 2 Physical layer Transmitter Section ····· 679
3. VDL Mode 2 Physical layer Receiver Section ····· 693

Section 12. Study on VDL M3 ····· 704
1. Introduction of VDL M3 ····· 704
2. Analysis of VDL M3 Protocol ····· 705

Chapter 4. Achievement and Contributions ····· 731

Section 1. Research Scope and Contents ····· 731
Section 2. Achievement and Contributions to Related Fields ····· 748

Chapter 5. Plan for Using Research Results ····· 758
Section 1. Using of Research Result ····· 753
Section 2. Using of Technical Result ····· 748

Chapter 6. Technical Information Collected from Overseas ····· 670

Section 1. Technical Cooperation with ADS company of Australia ··· 770
1. Introduction to ADS(Aviation Data System) of Australia ····· 770

2. Technical Consult Contraction with ADS ····· 771

Section 2. International Technical Trends of VDL M2 and CNS/ATM ····· 792
1. Technical Informations of EUROCONROL ····· 792
2. CNS/ATM Project Facts of Airservice Australia ····· 793
3. System Status of ATN/VDL of ARINC ····· 794
4. Service Status of SITA ····· 796

Section 3. International Standards and Specifications of VDL M2 ····· 798

Chapter 7. References ····· 800

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 목적

국제민간항공기구(ICAO)의 차세대 위성항행시스템(new CNS/ATM) 전환 계획[2]에 따라 전 세계적으로 항공통신(Communication), 항법(Navigations), 감시(Surveillance) 및 항공교통관리(ATM) 분야 항행안전시설과 대응되는 항공기 탑재 시스템의 변화가 가속화되고 있다. 특히 항공통신분야에서는 공대지 데이터링크 기술을 활용한 새로운 항공교통서비스(CPDLC, FIS-B, TIS-B)가 도입되어 항공운항 안전에 기여하고 조종사와 관제사의 편의성을 대폭 향상시킬 것으로 기대되고 있다.

이미 국내에서도 ACARS 기반의 PDC (Pre-Departure Clearance), D-ATIS (Digital Automatic Terminal Information System) 서비스가 인천국제공항, 김포공항을 비롯한 총 7개의 공항에 설치되어 서비스되고 있으며 기존 음성서비스에 비할 바 없는 편리함으로 인해 조종사의 반응도 매우 좋은 것으로 평가되고 있다. 하지만 ACARS 시스템의 낮은 데이터 전송률(2400bps) 등의 한계성으로 인해 새로운 CNS/ATM 환경에 널리 사용되기에는 미흡하며, 이에 대한 대안으로 새로운 VHF Digital(Data) Link 기술표준인 VDL Mode 2 기술이 개발되어 전세계적으로 시범운영되고 있다.

항공기술의 보수적인 성격은 그동안 항공통신시스템 분야에서도 예외가 아니었으나, 이제 50-60년대 아날로그 기술을 탈피하여 최신의 IT 기술과 상용통신기술을 적극적으로 도입하려는 시도가 늘고 있으며 이러한 민간항공통신 환경의 변화에 주목하고 새로운 시장 참여를 모색하기 위한 과감한 투자와 노력이 필요한 시점으로 전망된다.

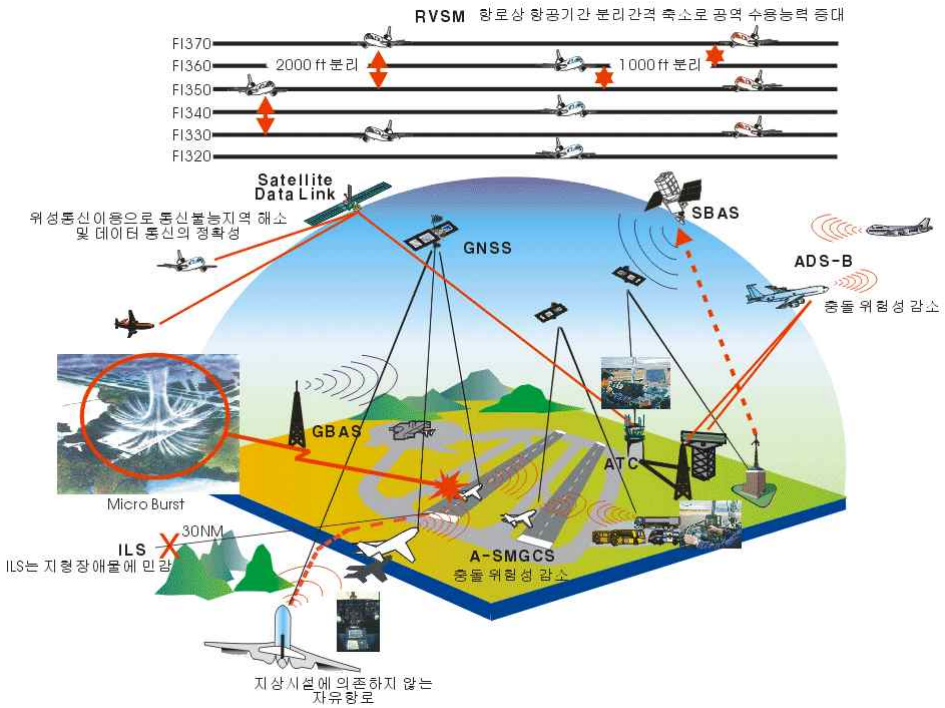
이에 본 연구과제에서는 민간항공용 공대지 데이터링크 기술로 활용처가 높을 것으로 기대되는 VDL Mode 2 시스템의 핵심장비인 **VDL Mode 2 송수신기를 산・학・연이 협력하여 공동 연구개발함으로써 VDL 기반 기술을 획득하고 CNS/ATM 환경에 적극적으로 대처**하도록 한다.

---

2) 1991년 9월 제10차 ICAO 항행회의에서 기존의 항공항행시설을 위성항법(GPS 등)과 디지털 통신기술을 활용한 새로운 개념의 CNS/ATM으로 전환하기로 결의하고 ICAO 가맹국들이 차세대 국제표준시설로 승인함에 따라 ICAO 가맹국들은 본격적으로 구축계획 수립 및 연구개발 경쟁에 돌입.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면



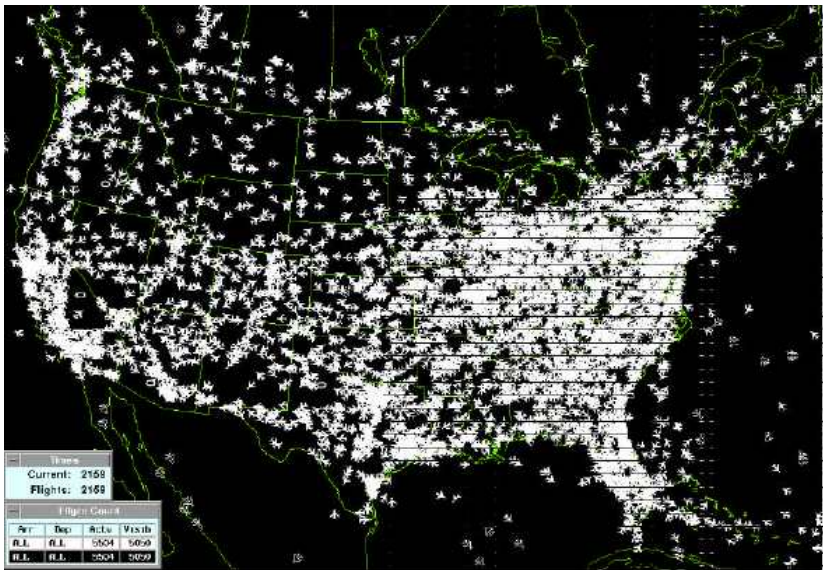
<그림 1-2-1-1> 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM) 개념도

○ 항공교통량의 증가에 따른 항공통신용 주파수 자원 부족 문제 대두

- 국내 항공교통량은 과거 10년(1994년~2003년)간의 국내 항공로만을 고려한 교통량 분석 결과, 10년 전(1994년, 24만3천681대)에 비해 48.2% 증가했으며, 연평균 4.8%의 성장률을 기록하고 있음.

- 유럽의 경우에도 지난 25년간 항공교통량이 세배로 증가하였으며, 증가율 추세로 보아 2020년에는 현재 수준의 2배로 증가할 것을 예상하고 있음.

- 항공교통량의 급속한 증가에 따라 기존 음성 중심의 항공통신시스템은 전 세계적으로 항공 주파수 자원의 부족 문제를 야기하고 있음(민간 항공이동 통신용으로 사용되는 VHF 전체 대역에서, 채널 간격 25㎑ 기준으로 이용 가능한 채널 수는 760개 뿐임).



<그림 1-2-1-2> 특정 낮 시간대에 미국공역을 비행중인 항공기(5500여대)

- 그동안 주파수 채널의 간격을 지속적으로 축소하는 방식과 추가적인 주파수 대역 할당을 통해 아날로그 음성통신용 주파수 자원을 확대하여 왔으나 현재에 이르러 한계에 다다름(유럽의 경우, FL195이상 비행하는 항공기의 VHF음성주파수 대역폭을 25㎑에서 8.33㎑로 축소).

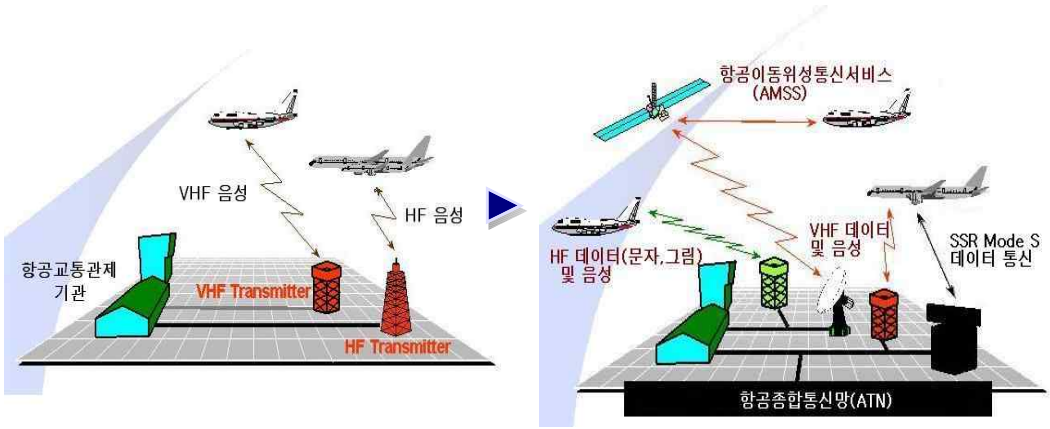
○ 음성통신의 한계와 신뢰성 부족

- 음성통신을 이용한 기존 항공교통관제방식에서는 언어(영어소통) 문제, 잘못된 이해, 간섭 및 잡음 등으로 인한 의사소통오류의 위험이 상존하고 있으며, 많은 정보의 신뢰성 있는 전달이 어려운 문제가 있어 항공 안전성에 심각한 영향을 줄 수 있음.

- VHF 음성통신의 경우 음성통화 품질은 상대적으로 양호한 편이나 전파특성으로 인한 가시거리(Line of Sight) 한계성을 지니고 있으며 장거리 음성통신용으로 사용되는 HF 통신의 경우 음성 품질이 열악하여 일반인의 식별이 매우 어려움.

- 이를 해결하기 위한 대안으로 항공용 데이터통신 기술이 도입되기 시작함.

- 그러나 1970년대부터 도입된 기존 항공 데이터통신 기술(ACARS)은 낮은 데이터 전송률(2400bps) 등 저급한 기술 특성으로 활용에 한계가 있는 실정임.



<그림 1-2-1-3> 항공통신 시스템의 변화 (기존/현재 → 미래)

○ 데이터통신기술이 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM)의 핵심 기반기술

- 1980년대 초, 민간항공부분에서는 날로 증가하는 항공교통량의 증가로 인해 기존의 통신, 항법, 감시 및 관제시스템으로는 미래의 항공교통량을 감당하지 못할 것이라는 우려가 제기 되었음.

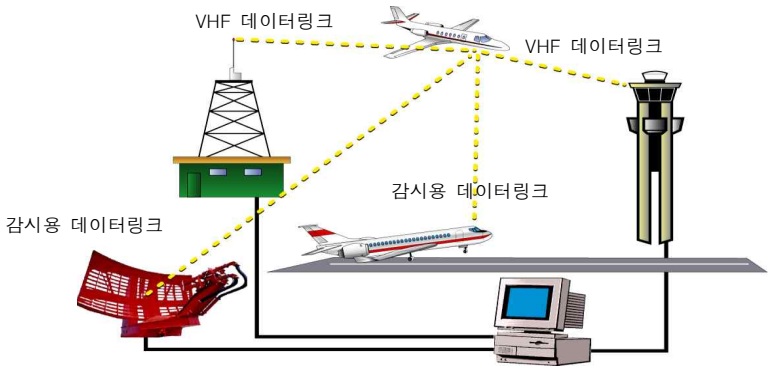
- 국제민간항공기구는(ICAO)는 이러한 문제점을 해결하기 위해 1983년 미래항행시스템(FANS, Future Air Navigation System) 특별위원회를 설치하여 21세기 항공교통량의 폭발적인 증가에 대비하기 위한 새로운 개념의 CNS/ATM(Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management) 시스템을 연구하기 시작함.

- FNAS 위원회의 연구결과를 바탕으로 1991년에 9월 캐나다 몬트리올에서 개최된 제10차 ICAO 항행회의에서는, 기존의 항공항행시설을 디지털 데이터통신기술과 위성항행시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)을 기반으로 하는 새로운 개념의 차세대 위성항행시스템으로의 전환계획을 공표(2010년 이후 실행)하고 이 계획을 회원국들이 추인함.

<표 1-2-1-1> CNS/ATM 핵심 구성요소 비교

구분	기존 시스템	차세대 시스템
통신 Communication	• 이동통신: Voice 위주 (HF, VHF 음성 등) • 지상고정통신: AFTN	• 이동통신: Data 위주 (HFDL, VDL, AMSS 등) • 이동+지상통신 : ATN 단일망으로 통합
항법 Navigation	• 무선항행시설 이용 : ILS, VOR/DME, NDB 등	• 위성항법시스템(GNSS) 이용 : GBAS, GRAS, SBAS
감시 Surveillance	• 레이더와 음성통신 : PSR/SSR, Voice	• 데이터통신 기반의 새로운 감시기술 도입 : SSR Mode S, ADS-B, Multilateration 등
관제 Air Traffic Management	• Local ATM	• Global ATM - 차세대 CNS 기술의 융합 • 4-D ATM

- 초단파(VHF) 대역의 무선통신 기술은 CPDLC, ADS(-C), ADS-B, TIS-B, GBAS, GRAS 등 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM) 애플리케이션 구현에 기반이 되는 핵심 기술로 시급한 기술 개발이 요구됨



<그림 1-2-1-4> 공지간 감시에서의 데이터링크 통신의 활용

- VHF 데이터링크(VDL) 기술은 항공용 데이터 전송을 위한 유용한 기술로 널리 인정받고 있으며 향후 아날로그 음성 통신을 대체하는 기술로도 발전함. (VDL Mode 3 기술은 데이터 전송 및 음성 전송 가능)

<표 1-2-1-2> 통신 및 감시기능에 활용 가능한 현존 데이터링크 기술들

기 능 / 기 술	A/G Datalink	A/A Datalink	A/A Broadcast	Uplink Broadcast	Downlink Broadcast	비 고
ACARS	✓					
HFDL	✓					
AMSS	✓					
VDL M2	✓			✓		
VDL M3	✓			✓		데이터+음성
VDL M4	✓	✓	✓	✓	✓	통신/감시
Mode-S EHS				✓	✓	감시용
1090 ES			✓	✓	✓	감시용
UAT			✓	✓	✓	감시용
활용분야	기지간 데이터통신		ADS-B	TIS-B, FIS-B		

- VDL Mode 2 기술은 VDL Mode 3과 VDL Mode 4 기술과 유사성이 있어 다른 데이터링크 기술 개발 시에도 활용 가능함(VDL Mode 3, Mode 4 기술은 VDL Mode 2의 상위 기술이 아니라 애플리케이션 용처가 다른 기술임).

2. 경제·산업적 측면

○ 경제적 측면

- 초기 VHF 대역을 이용한 데이터링크 기술인 ACARS (Aircraft Communications, Addressing and Reporting System) 시스템은 근시일내에 VDL Mode 2 기술로 대체가 확실시 됨.

- ACARS는 국내·외를 운항하는 상업용 항공기의 경우 거의 대부분 탑재된 장비임. (국내 민항사 보유 항공기의 대부분은 ACARS 지원장비를 탑재 중임. 탑재 대수 = 172대 (대한항공+아시아나항공)

- 대체 수요 발생시 수입대체 효과 및 수출 가능성이 있음(단, 항공기 탑재

용 장비는 국제적인 인증이 전제되어야 함).

- 국내산업 육성을 위한 정책적인 배려가 뒷받침된다면, 현재 국내에 설치된 해외 서비스제공자(ARINC, SITA)의 공급 장비를 향후 국내 개발되는 VDL Mode 2 지상장비를 활용하여 대체 가능함.

○ 산업적 측면

- 향후 부상이 확실시되는 무인기 시장에서 무인기 기술의 요소기술인 데이터링크 관련 국내 기술의 고도화가 기대됨
- 유·무인기 통합 교통 시대를 대비한 새로운 관제기술 개발의 시발이 될 수 있음.

3. 사회·문화적 측면

○ 항공교통효율화 달성

- 항공교통 지연 시간의 해소 등 항공교통서비스의 질 향상에 기여



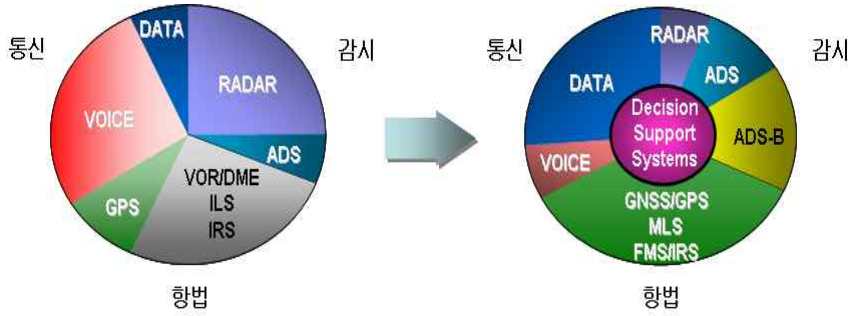
<그림 1-2-3-1> 증가하는 항공기 지연현상

- 동북아 허브 공항의 완성과 물류 국가로의 도약하기 위해서는 국제민간항공기구(ICAO)가 권고하는 국제표준규약에 부합하는 차세대 위성항행 시스템의 개발에 있어 체계적인 국가적 계획 및 투자가 요구됨.

○ 항공안전성 향상에 기여

- 조종사와 관제사의 통신 편이성 향상을 통해 안전성 향상을 도모할 수

있음.



과거 및 현존 항공교통 시스템　　차세대 항공교통 시스템

<그림 1-2-3-2> 항공교통시스템의 변화

제 3 절 연구개발의 범위

1. 연구개발의 최종목표

VHF Data Link (VDL) Mode 2 지원 송수신기 개발과 VDL 분야 핵심기술 확보

○ 국제 기술표준과 규격(ICAO, RTCA)에 부합하는 항공용 VHF Data Link (VDL) Mode 2 지원 송수신기 개발

- 지상용/탑재용 VDL Mode 2 송수신기

  ▪ VDL Mode 2 송수신기(VDR : VHF Data Radio) 개발

  ▪ VDL M3, M4 및 VDB용도로 확장이 가능하도록 SDR(Software Defined Radio) 형태로 개발

  ▪ 응용시스템과의 인터페이스 제공

- 운용 시험장치

  ▪ 기능/성능/운용 시험 지원 및 점검 지원용

<표 1-3-1-1> VDL Mode 2 송수신기 목표성능

개발목표	세부 규격 및 연구 내용			비 고
	구분	단위	개발규격	
VDL Mode 2 송수신기 개발 (지상용 및 탑재용)	사용주파수	㎒	118~137	
	채널간격	㎑	25	
	RF 출력	W	5~30	
	수신감도	dBm	-98이하	@ BER 10^{-3}
	변복조방식	-	D8PSK	VDL Mode 2
	데이터전송률	kbps	31.5	
	다중접속방식	-	CSMA	

○ CNS/ATM 환경을 대비하여 요소기술인 VDL 분야 핵심기술 확보

- VDL 기술과 H/W가 매우 유사하고 단기 시장 수요 발생이 예상되는 VDB(VHF Data Broadcasting) 애플리케이션에의 활용을 위하여 개발 VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘을 개발함.
- VDL 시험평가 기술(운용성능 확인을 위한 비행시험 포함) 및 환경시험
- VHF 대역 전파 간섭 연구

2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	• VDL M2 국제 표준 및 규격 분석	• ICAO, RTCA, ARINC 등 VDL Mode 2 관련 국제 표준 분석 • VDL M3 기술 분석
	• VDL M2 송수신기 개념 설계	• VDL Mode 2 송수신기 H/W 분석 • VDL Mode 2 프로토콜 분석 • VHF Data Broadcasting (VDB) 알고리즘 분석 • VDL Mode 2 송수신기 사양 결정
2차년도	• VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 기본설계/상세설계	• VDL M2용 VDR, CMU 기본설계 • VDL Mode 2 MAC 설계 • VDL Mode 2 Subnetwork 프로토콜 설계 • VDL M2용 VDR, CMU 상세설계
	• 시험평가 기법 및 시험장치 설계	• 시험평가 기법연구 • 운용(Application) 시험장비 설계
	• VDL M3 프로토콜 연구	• VDL M3 Data link layer 프로토콜 연구 • VDB 프로토콜 기본 설계
3차년도	• VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 상세설계 완료 • 탑재통신장비 제작 • 지상통신장비 제작 • VDL M2 프로토콜 구현(S/W 최종완성) • 운용시험장비 제작	• VDL M2용 VDR, CMU 상세설계 완료 • VDR, CMU 제작 • 탑재 및 지상통신장비 조립 • VDL Mode 2 MAC, Subnetwork 프로토콜 구현 • 운용 시험장비 제작 • 성능 시험장치(Testbed) 구현
	• 지상성능시험(I)	• 지상 기능 및 성능 시험
	• VDB 프로토콜 구현 연구	• VDB 프로토콜 구현 연구
	• 지적 재산권 자료조사	• 항공선진국(미국, 유럽, 일본) 지적재산권(IPR) 자료 조사 • 지적 재산권 대처방안 수립
4차년도	• VDL M2 통신시스템 수정보완	• 3차년도 시험결과를 기반으로 VDL M2 통신시스템 시스템 수정보완
	• 지상성능시험(II)	• 수정보완된 시스템에 대한 2차 지상시험 실시
	• 환경시험	• 환경시험(지상장비 위주로)
	• 비행 시험평가	• 국토해양부 점검용 항공기 이용한 비행 시험평가 • 국토해양부 항공기 이용 불가시에는 차량탑재시험으로 대체 • 공항/민항기 시스템과 호환성 시험(관련기관 협조시 수행)

제 2 장 국내외 기술개발 현황

IT 분야, 특히 초고속인터넷서비스를 중심으로 한 유무선 정보통신기술의 눈부신 발전에 비하면 항공통신기술 분야에 대한 국내 연구는 매우 초라한 수준으로 평가할 수 있다. 이는 국내 관련 기반기술의 부족 보다는 안전과 신뢰성이 최우선시 되는 항공기술의 특수성, 항공선진국들의 기술 독점, 국내 항공시장의 미약함으로 인한 관심 부족 등이 근본 원인이라고 볼 수 있다.

그동안 항공통신은 아날로그 음성통신기술에 기반하고 있었고 현재까지도 항공교통관제(ATC)의 중심에는 조종사와 관제사의 음성 교신이 매우 중요한 역할을 해오고 있다. 그러나 사실 이러한 항공통신기술 분야에도 오래전부터 디지털 통신기술과 데이터통신 기술의 도입이 시도되고 있었다. 1978년에 ARINC사는 최초로 민간항공사의 운항관리통신용(AOC)으로 VHF 대역을 이용한 ACARS (Aircraft Communications and Reporting System) 데이터링크 서비스를 제공하기 시작하였다. ACARS는 <그림 2-1>과 같이 문자(Text)기반의 항공용 이메일 혹은 메시지전송시스템으로 볼 수 있다. <표 2-1>은 ACARS를 통해 전송되는 OOOI (Out, Off, On, In) 메시지의 종류와 내용을 보이고 있다.

이후 ARINC와 SITA(1985년부터 VHF AIRCOM 서비스 시작) 양사가 주도적으로 제공하는 문자(text) 기반의 ACARS 시스템의 사용은 기하급수적으로 늘어나게 되며 1990년대 초에 이르러 대부분의 항공사들은 항공기와 항공사 중앙관리시스템 사이의 AOC 메시지 전송을 위한 ACARS 데이터링크 항공장비를 항공기에 장착하게 된다.

```
.HL7497 ---- KE0235     15AUG04 01542
PRINTER MSG
.SELOZKE 150151
AGM
AN HL7497/MA 001A
-  FOOTBALL INFO
..KOREA WON
KOREA 1 : MAXICO 0
GOAL : KIM JEONG WOO AT THE FIRST HALF 16 MIN
B.RGDS/DISP KIM JH
```

<그림 2-1> ACARS 메시지의 예

AOC에서 시작된 이러한 투자와 데이터링크에 관한 경험은 항공교통서비스제공자(항공교통관제기관)들에게도 관심을 일으키고 드디어 문자기반의 ACARS 데이

터링크서비스가 항공교통서비스(ATS)에 활용되기 시작한다. 초기 항공교통서비스에서 사용되는 ACARS도 역시 문자(TEXT) 메시지만을 전송하였다. ACARS 항공장비는 항공기조종사가 문자 메시지를 입력하고 지상으로부터 수신된 메시지를 조종석 프린터로 인쇄해 보거나 스크린에 표시하는 기능을 제공한다. 그러나 낮은 데이터 전송률(2400bps)로 인한 한계로 ATS용으로는 활발하게 이용되지 못하는 실정이며 현재까지도 대부분(95%)은 AOC용으로 사용되고 있다.

<표 2-1> ACARS를 통해 전달되는 OOOI 메시지의 종류와 내용

Movement	Event	Trigger Condition	Message Contents	Example
Out	Leaving gate or parking position	Parking brake released, all doors are closed.	Out time	OUTRP 1865/31 ENZV/EKCH .SE-DNM/OUT 0650
Off	Take off	Air/ground sensor on landing gear to "airborne" state	Out timeOff timeInitial ETA	OFFRP 1350/28 ENGM/ENVA .OY-KKD/OUT 0859/OFF 0906/ETA 0946
On	Touch down	Air/ground sensor on landing gear to "ground" state	On time	ONRP 1499/31 ESSA/ENGM .SE-DIA/ON 0651
In	Arrival at gate or parking position	Parking brake set, any door is opened.	On timeIn time	INRP 0403/31 ESSA/EKCH .OY-KIL/ON 0637/IN 0643
Return-to-gate	Returns to gate after Out event	In event detected after Out event.	Return time	RTNRP 0431/31 ESGG/EKCH .LN-ROB/RTN 0522
Touch-and-go	Takes off immediately after landing	Off event detected after On event.	T&G time	TCHRP 9431/29 EKCH/EKCH .SE-DNS/TCH 1412

1990년대 초, 국제민간항공기구(ICAO)는 기존의 항행시설과 관리방식으로는 미래 항공교통수요를 감당할 수 없다는 것을 인식하고 위성항행시스템(GNSS)과 디

지털데이터통신기술을 이용한 새로운 미래항행시스템(FANS)으로의 전환을 모색하기 시작한다. 이러한 노력은 결국 점진적으로 증가하는 미래 항공교통수요에 대처하고 안전성 향상과 교통운영 효율화, 새로운 서비스의 창출을 기대할 수 있는 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM)으로 구체화 되었다.

미국과 유럽진영으로 대표되는 항공 선진국들은 현재, 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM)이 가져올 미래 이익과 기술 선점의 중요성을 충분히 파악하고 관련 기술의 개발과 연구에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 CNS/ATM의 핵심 기술분야인 항공통신기술의 경우 항행과 감시, ATM 기술의 기반을 제공하는 역할을 하기에 기술경쟁이 매우 치열하게 벌어지고 있으며 자국 기술의 보호와 시장선점을 위해 다른 기술의 우위를 쉽게 인정하지 않는 분위기로 치닫고 있다.

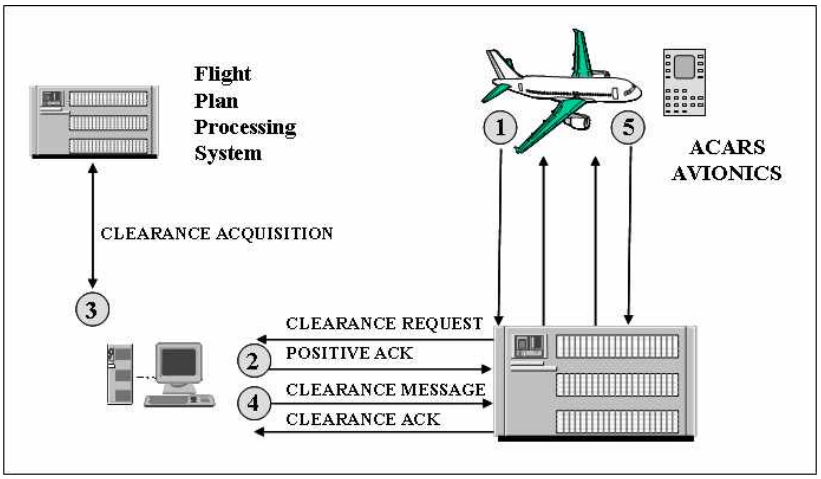
국내에서도 항행시설을 운영·관리해 오고 있는 정부와 유관 기관을 중심으로 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM)에 관한 관심이 증대되고 있지만 체계적이고 본격적인 연구로 이어지지 못하고 있으며 현재까지는 세계의 동향을 관망하는 피동적인 수준에 머물고 있다. 이러한 연유에는 국내의 항공산업이 군수용 항공기 쪽으로 지나치게 편향되어 민간항공과 관련된 연구가 전무한 데에도 한 원인이 있으리라 생각된다. 오히려 최근 들어 특수 분야인 무인기 연구가 활발해 지면서 무인기 분야 데이터링크 기술의 도입과 구현이 많아지고 관련 연구도 더욱 활발한 편이다. 국내 잠재 기반기술이 충분하고 향후 발전 가능성이 무궁한 항공 통신 분야, 특히 데이터통신 기술에 대한 관심과 연구가 이제부터라도 활발해져야 할 것으로 판단된다.

제 1 절 국내 기술동향

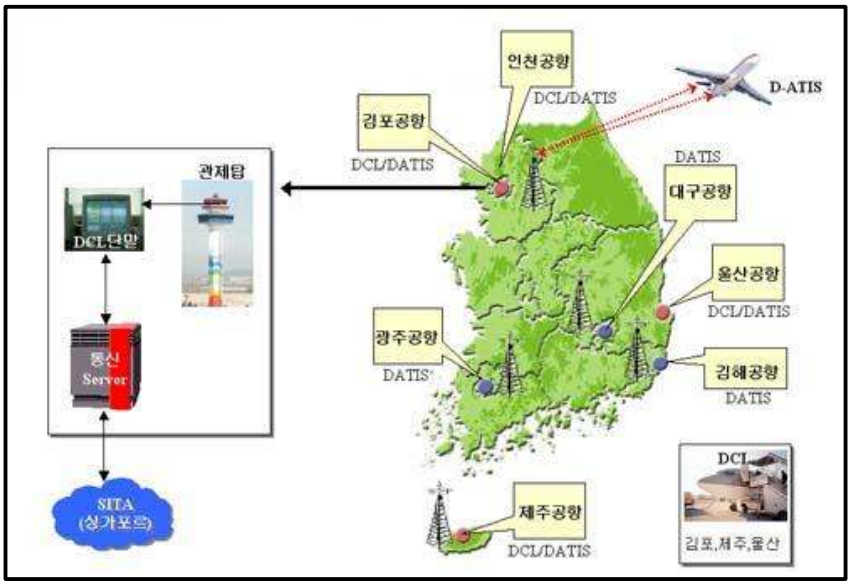
○ 민항기에서 사용 중인 ACARS의 경우 해외 데이터링크 서비스 제공업체의 인프라를 사용 중이며 탑재 장비의 경우에도 해외업체로부터 전량 수입에 의존하고 있음.

○ 한국공항공사에서 항공교통서비스로 ACARS 망을 활용한 PCD, D-ATIS 시스템 구축

- ACARS 망을 활용한 PDC(Pre-Departure Clearance)를 1996년 12월, D-ATIS(Digital Automatic Terminal Information System) 시스템을 1999년 5월 각각 국내기술로 개발하여 운용중임



<그림 2-1-1> PDC 절차



<그림 2-1-2> 국내 PDC/D-ATIS 구축 현황(한국공항공사 자료)

- D-ATIS의 경우, 김포공항에서 2000년도 1월부터 서비스를 제공하기 시작하였으며 조종사들의 호응이 높아 이용 건수가 급증하고 있음



<그림 2-1-3> 국내 ACARS 데이터통신망 구축 현황(한국공항공사 자료)

○ 무인기 관련 데이터링크 기술을 일부 보유중임.

○ 통신장비 개발에 필요한 기반기술을 보유하고 있으나 민간항공용 데이터링크 장비의 경우 개발된 사례가 없음.

○ 하지만 선진국 수준의 국내 상용 무선통신 및 네트워크 관련 핵심기술들

을 차세대 항공 데이터 통신시스템(VHF Data Link) 개발에 Spin-on시 빠른 시간 내에 선진국 수준의 제품개발이 가능할 것으로 판단됨.

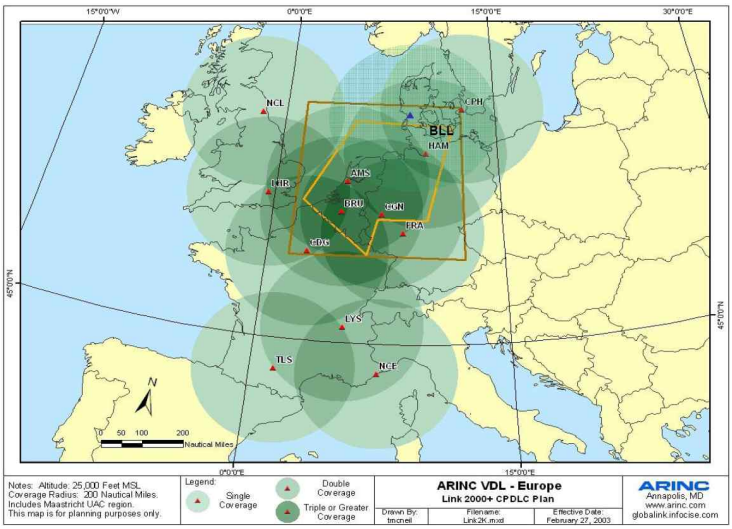
제 2 절 국외 기술동향

○ VDL Mode 2는 미국 연방항공국(FAA), 유럽 Eurocontrol을 중심으로 , 메이저 항공사, 그리고 통신 서비스업체들에 의해 기존 ACARS 보조 및 대체 그리고 항공교통관제(ATC) 통신용으로 활용하려는 목적으로 관련 연구 활동을 활발히 추진 중임.

○ 미국의 경우 2002년 1월부터 마이애미 지역에서 VDL Mode 2를 사용한 FAA CPDLC(Controller-Pilot Data Link Communications) 프로젝트를 진행 중임

○ 이러한 VDL Mode 2는 Rockwell collins사, Teledyne사, Harris사, Honeywell사 등에서 개발하여 AA사, Fed Ex사, Delta사, USAF, CA사 등에 장착하여 사용 및 시험 중에 있음.

○ 유럽(EU)의 경우 Eurocontrol 주관으로 Link 2000+ 프로그램 ('00～'07년)을 진행하며 ATM을 위한 공대지 데이터링크(VDL Mode 2) 서비스 구현을 시험 중임.



<그림 2-2-1> 유럽에서 구축 중인 VDL Mode 2 지원 지상국

○ 일본의 경우, 2003년 9월부터 VDL Mode 2를 사용한 AOA 서비스를 시작하였으며, AVICOM용 10개의 VDL Mode 2 장비를 설치하여, 2003년 12월 말부터 3대 민간 항공기를 통하여 시험 서비스를 제공하고 있음.

제 3 절 기술동향 분석 결론 및 전망

○ 전술한 바와 같이, 2015년 이후에는 국제민간항공기구(ICAO)에서 규정한 CNS/ATM 시대가 도래 하여 새로운 지상(관제) 시스템 및 관련 첨단 항공전자시스템이 개발되어 운영될 예정임. CNS/ATM 구현을 위한 핵심 기반기술로 인정되는 디지털데이터통신(유무선 네트워킹) 기술과 위성항법(GNSS) 기술은 향후 유망한 연구 분야가 될 것이 확실시 됨.

○ 특히, 민간항공용 무선 데이터링크 시스템 및 관련 응용기술의 개발은 현재 항공용 데이터통신시장에서 가장 시급히 개발이 필요한 분야이며 시장 선점을 위한 요소기술로 인정되어 항공선진국에서는 이와 관련한 연구가 활발히 추진되고 있음.

○ 그간 국내 항공 산업은 멀리 앞서 가고 있는 항공선진국을 따라가기 급급

하여 국내 수요가 확실한 군수용 항공기체계개발 사업 중심으로 편중되어 고분 분투한 것이 사실임. 하지만, 이마저도 체계적인 계획수립 부족과 기업간 기회 다툼, 선진국의 기술이전 기피, 산·학·연 기술공유 기회의 부족 및, 추진사업간 기술 단절 등의 원인으로 오랫동안 침체에 빠진 면이 있음. 더욱이 이미 몇몇 기업이 전 세계 시장을 독점하고 있는 시장상황에서 수출 및 판로 확보에 어려움을 겪고 있기 때문에 이러한 점은 국내 항공 산업이 풀어야 할 커다란 숙제로 대두되고 있음.

○ 또한 그동안 지상 항행시설과 관련된 시스템에 대한 국내 연구는 항공기체 연구보다 훨씬 더 소외된 분야라 할 수 있는데, 이는 국가가 구축하고 관리해 온 교통인프라라는 특성과, 역시 이 분야 시장상황의 정체성에서 기인하였다고 볼 수 있음. 하지만 항행시설과 관련 시스템에 대한 기술연구는 최근 들어 전 세계적으로 새로운 도약의 시기를 맞고 있으며, 국내 IT 기반 기술과 GNSS 관련 기술이 융합되어 뒷받침되고, 중장기적인 연구개발계획과 정책적인 배려가 이루어진다면 선진국 시장에 경쟁력을 갖춘 산업분야로 성장할 가능성이 매우 높다고 전망됨.

○ 본 과제에서 다루고 있는 VHF 데이터링크(VDL) 시스템의 경우, CNS/ATM 단기구축 계획에서 요소기술로 연구되고 있는 분야임. 특히 공항부근과 지상 장비가 설치 가능한 항공로(En-route) 영역에서 항공교통관제 및 항공운항통신용으로 유용하기 때문에, 기존 시설의 대체와 병설이 가능하여 기존항행시설의 변환과정에서 활용도가 매우 높을 것으로 기대되는 시스템임.

○ 또한 VDL(VHF Data Link) 기술은 또한 위성항법시스템(GNSS) 기반의 GBAS(Ground Based Augmentation System), GRAS(Ground based Regional Augmentation System)와 같은 새로운 위성항법 기술구현에 필요한 방송 링크를 제공하는 VDB(VHF Data Broadcating) 기술과도 유사한 측면이 많아 개발 시 시장성도 매우 밝을 것으로 예상됨.

○ 현재까지 VDL은 VDL Mode 2, VDL Mode 3, Mode 4 기술로 정리되어 이제 막 표준화가 완료되어 있는 시점임. 각 기술은 VHF 대역을 사용하

는 데이터링크라는 공통점과 여러 가지 데이터링크의 물리적 특성 및 통신 프로토콜에서의 유사성과 차이점을 동시에 지니고 있음. VDL Mode 3이 VDL Mode 2의 상위 기술이고, VDL Mode 4가 VDL Mode 3의 상위 기술로 보는 것은 적절치 않으며 각각의 데이터링크는 용도에 따라 다르게 고안된 기술이며 따라서 구현을 원하는 애플리케이션에 따라 적합한 링크의 선정이 이루어지게 됨.

<표 2-3-1> VHF Data Link 기술별 특징 비교

특성	ACARS	VDL M2	VDL M3	VDL M4
주파수(㎒)	131.55	118~137	118~137	118~137
채널간격(㎑)	25	25	25	25
변조방식	DSB-AM/MSK	D8PSK	D8PSK	GFSK
다중접속방식	CSMA	CSMA	TDMA (CSMA)	STDMA
데이터전송률 (kbps)	2.4	31.5	31.5	19.2
디지털음성 전송률(kbps)	N/A	N/A	4.8	N/A
운용가능범위 (NM)	200	200	200	200
서비스	Data	Data	Data/Voice	Data
통신 서브넷	Air to Ground	Air to Ground	Air to Ground	Air to Ground Air to Air
응용 분야	AOC/ATC	AOC/ATC	ATC	ATC
비 고		유럽 : 시험운용 중 FAA : 2017까지 구축	☞ 음성과 데이터로 구성된 1개의 frame을 4개의 슬롯으로 구분 ☞ 데이터 전용 사용시 CSMA 사용	☞ ADS-B용 우선 ☞ Self-organized TDMA (1개의 superframe에 4500 slots/min)

○ VDL Mode 2의 경우 CPDLC, ADS 등의 점대점(Point-to-Point) 통신 애플리케이션에 주로 이용되는 데이터 전용 통신링크임. VDL Mode 2와 상

당 부분 동일한 VDL Mode 3의 경우도 점대점 통신에 주로 이용되며, 특히 디지털화된 음성 전송이 가능하다는 장점이 있음. VDL Mode 4의 경우는 감시기술(예, ADS-B)에 우선 적용을 목적으로 고안된 다목적 통신 링크임.

○ 미국에서는 주파수 문제를 디지털화된 음성통신과 데이터통신의 결합으로 한꺼번에 해결하려는 노력을 하고 있음. 구체적으로는 NEXCOM 프로젝트를 통해 자국에서 우선 사용할 목적으로 VDL Mode 3 기술을 연구하고 있지만, 최근 들어(2005년 현재) FAA의 관련 연구 기금이 축소, 활용성 저하 및 시각제어(Universal Time Control) 등의 문제로 연구를 중단. 현재에는 VDL Mode 2 기술을 활용한 CPDLC 애플리케이션 등의 기술연구는 계속 진행 중이며 2017년까지 VDL M2와 CPDLC를 구축을 완료하는 목표를 세웠으며, 또한 유럽의 Eurocontrol과 함께 차세대 광대역 항공데이터통신 기술연구(FCS : Future Communication Study)를 수행 중에 있음.

○ 유럽의 경우 VLD Mode 2를 활용한 ATC 서비스 실현을 위해 활발한 노력을 경주하고 있음. 구체적으로는 Eurocontrol을 중심으로 LINK 2000+ 프로젝트를 진행 중이며 관련 연구와 구축사업(2010년 이후)은 앞으로도 계속 이어질 전망임. 또한 감시용 데이터링크로서 VDL Mode 4를 활용하려는 연구가 진행 중임.

○ 따라서 VDL Mode 2 기술의 개발은 향후 국내 CNS/ATM 분야 중요 요소 기술로 부각될 것으로 기대되며, 항공분야 국외 시장진출에 있어서도 가능성 있는 유망 제품 기술로 전망됨.

<표 2-3-2> 국내기술 수준 분석

구 분	세부 기술	기술수준 (선진국 대비)	기술격차 (년)
핵심 기술	RF 설계	80%	2
	Base Band Processor 설계	60%	5
	프로토콜(Data link, Subnetwork) 설계	40%	7
기반 기술	항공용 통신시스템 설계	60%	4
	통신링크 모델링 및 분석기술	70%	4
	이동통신 시스템 설계 기술	80%	3
	차세대 항공 데이터 통신 시스템 운용 기술	6%	5

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 개 요

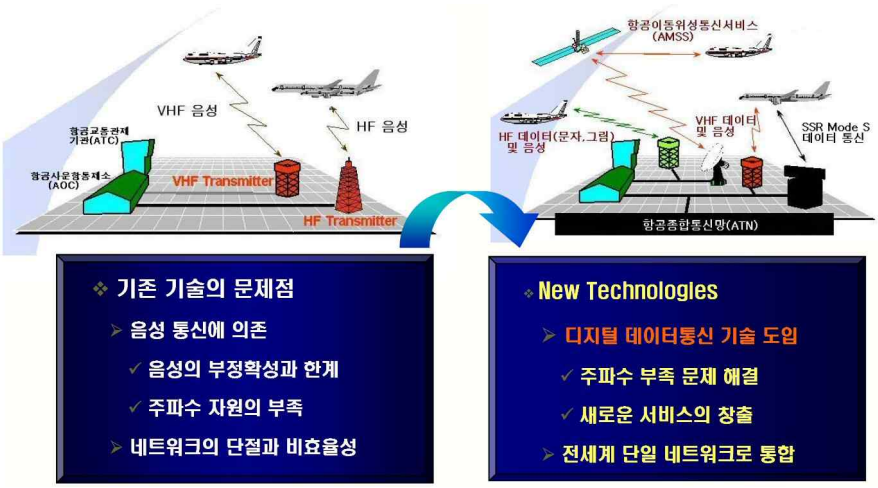
1980년대 초에 민간항공부분에서는 날로 증가하는 항공교통량의 증가로 인해 기존의 통신, 항법, 감시 및 관제시스템으로는 미래의 항공교통량을 감당하지 못할 것이라는 우려가 제기 되기 시작하였다. 따라서, 국제민항기구(ICAO)는 1983년에 미래항공항법시스템(FANS : Future Air Navigation Systems) 연구를 위한 특별위원회를 설치하여 21세기 항공교통량의 폭발적인 증가에 대비하기 위한 새로운 개념의 CNS/ATM(Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management) 시스템을 연구하기 시작하였으며, 여기서 CNS/ATM은 전세계를 통합할 수 있는 매우 경제적인 시스템임을 입증하였다. 국제민항기구(ICAO)에서는 1991년도에 <그림 3-1-1>과 같이 위성항법을 기반으로 하는 CNS/ATM시스템의 개념을 정립하고, 1992년 국제민항기구(ICAO) 제29차 총회에서 CNS/ATM을 국제표준항행시설로 승인하고 2016년 이후 국제표준시스템으로 전환운용 계획 수립하였다.



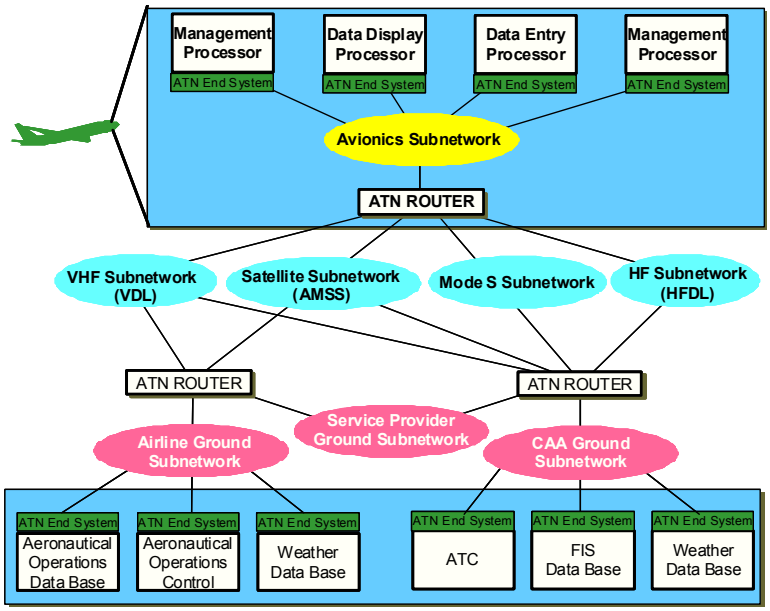
<그림 3-1-1> CNS/ATM개념 및 발전 방향

통신분야에서는 기존 AM방식의 음성중심 통신시스템은 항공교통량 증가에 따른 주파수 자원부족, 조종사와 관제사 간의 의사소통 오류가 발생될 위험이 있으며 항공기 안전운항에 필요한 새로운 항공교통서비스 제공의 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 상용분야에서 개발된 기술들을 과감히 도입하면서도 기존

시설과의 호환성/양립성을 고려한 통신방식을 개발하고 표준화하고 있다. 특히, ISO의 개방형시스템상호연결(OSI)를 근간으로 하여 ISO 8208 X.25프로토콜을 준수하는 항공통신망(ATN: Aeronautical Telecommunication Network)을 표준화하여 전세계를 단일망으로 연결하여 전 세계 어디에서든지 연속적인 통신서비스가 가능한 환경을 구축하고자 노력하고 있다. 항공데이터링크는 <그림 3-1-3>과 같이 항공통신망차원에서의 항공국(이동국)과 지상국(기지국) 간의 이동통신 서브네트워크의 역할을 수행하며, 이러한 ATN망 이동통신 서브네트워크에는 VHF대역 데이터링크(VDL: VHF Data Link), HF대역 데이터링크(HFDL), 항공위성통신서비스(AMSS: Aeronautical Mobile Satellite Services)와 Mode S 데이터링크 등이 있다. 이 중에서도 VDL은 대륙내에서 항공기와 지상을 연결하는 중요한 데이터통신 수단이며 ATN망에서 가장 중요한 데이터링크로 자리매김하고 있다, 후보 통신방식으로는 VDL Mode A/1, 2, 3, 4가 있으며 Mode 2가 가정 먼저 구축될 유력한 방식으로 판단되며, 유럽에서는 Link 2000+ Program을 통해 VDL M2기반 CPDLC기능을 구현하여 시범운영을 실시하였고 CASCADE프로그램을 통해 ADS-B초기 구축과 VDL M2/ATN/CPDLC의 운용성 확장에 대한 연구를 진행하고 있다. 미국의 경우에는 FAA에서 2017년까지 VDL M2 데이터링크를 자국내 구축을 완료를 발표하였다.



<그림 3-1-2> 항공통신시스템의 변화



<그림 3-1-3> ATN에서 기지간 서브네트워크 구성

본 연구에서는 ATS서비스에서 향후 10~20년 간 가장 중요한 데이터링크로 활용될 VDL M2 데이터링크와 관련된 국내기술을 확보하고 VDL M2송수신기를 개발하고자 한다. 이러한 연구 기본목표를 바탕으로 아래와 같은 연구목표를 설정하여 연구를 수행하였다.

○ 국제 기술표준과 규격(ICAO, RTCA)에 부합하는 항공용 VHF Data Link (VDL) Mode 2 지원 송수신기 개발

- 지상용/탑재용 VDL Mode 2 송수신기

▪ VDL Mode 2 송수신기(VDR : VHF Data Radio) 개발

▪ VDL M3, M4 및 VDB용도로 확장이 가능하도록 SDR(Software Defined Radio) 형태로 개발

▪ 응용시스템과의 인터페이스 제공

- 운용 시험장치

▪ 기능/성능/운용 시험 지원 및 점검 지원용

<표 3-1-1> VDL Mode 2 송수신기 목표성능

개발목표	세부 규격 및 연구 내용			비 고
	구분	단위	개발규격	
VDL Mode 2 송수신기 개발 (지상용 및 탑재용)	사용주파수	㎒	118~137	
	채널간격	㎑	25	
	RF 출력	W	5~30	
	수신감도	dBm	-98이하	@ BER 10^{-3}
	변복조방식	-	D8PSK	VDL Mode 2
	데이터전송률	kbps	31.5	
	다중접속방식	-	CSMA	

○ CNS/ATM 환경을 대비하여 요소기술인 VDL 분야 핵심기술 확보

- VDL 기술과 H/W가 매우 유사하고 단기 시장 수요 발생이 예상되는 VDB(VHF Data Broadcasting) 애플리케이션에의 활용을 위하여 개발 VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘을 개발함.
- VDL 시험평가 기술(운용성능 확인을 위한 비행시험 포함) 및 환경시험
- VHF 대역 전파 간섭 연구

상기와 같은 연구목표 달성을 위해 <표 3-1-2>와 연차별 연구수행 계획을 바탕으로 연구를 수행하였다.

<표 3-1-2> 연차별 연구 수행내용

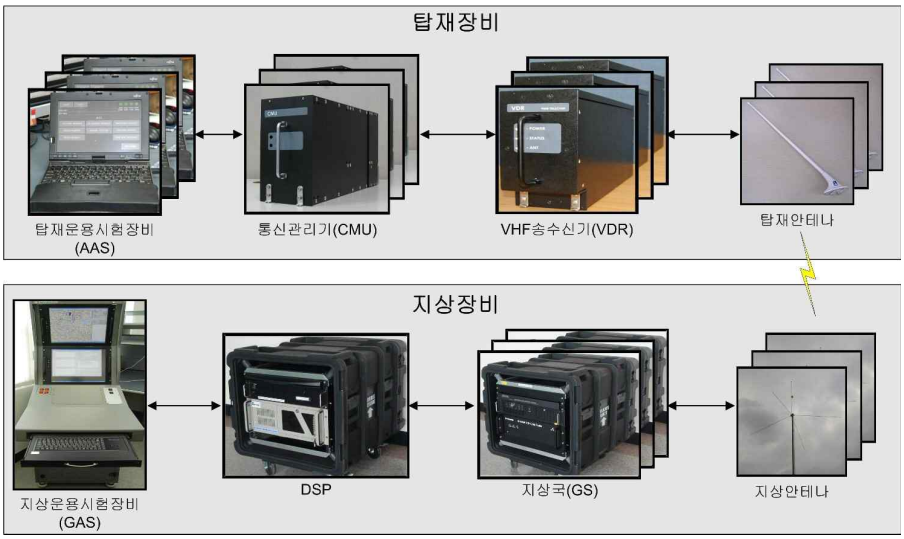
연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	• VDL M2 국제 표준 및 규격 분석	• ICAO, RTCA, ARINC 등 VDL Mode 2 관련 국제 표준 분석 • VDL M3 기술 분석
	• VDL M2 송수신기 개념 설계	• VDL M2 송수신기 H/W 분석 • VDL M2 프로토콜 분석 • VHF Data Broadcasting (VDB) 알고리즘 분석 • VDL M2 송수신기 사양 결정
2차년도	• VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 기본설계/상세 설계	• VDL M2용 VDR, CMU 기본설계 • VDL M2 MAC 설계 • VDL M2 Subnetwork 프로토콜 설계 • VDL M2용 VDR, CMU 상세설계
	• 시험평가 기법 및 시험장치 설계	• 시험평가 기법연구 • 운용(Application) 시험장비 설계
	• VDL M3 프로토콜 연구	• VDL M3 Data link layer 프로토콜 연구 • VDB 프로토콜 기본 설계
3차년도	• VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 상세설계 완료 • 탑재통신장비 제작 • 지상통신장비 제작 • VDL M2 프로토콜 구현 • 운용시험장비 제작	• VDL M2용 VDR, CMU 상세설계 완료 • VDR, CMU 제작 • 탑재 및 지상통신장비 조립 • VDL M2 MAC, Subnetwork 프로토콜 구현 • 운용 시험장비 제작 • 성능 시험장치(Testbed) 구현
	• 지상성능시험(I)	• 지상 기능 및 성능 시험
	• VDB프로토콜 구현 연구	• VDB 프로토콜 구현 연구
	• 지적 재산권 자료조사	• 항공선진국(미국, 유럽, 일본) 지적재산권(IPR) 자료 조사 • 지적 재산권 대처방안 수립
4차년도	• VDL M2 통신시스템 수정보완	• 3차년도 시험결과를 기반으로 VDL M2 통신시스템 시스템 수정보완
	• 지상성능시험(II)	• 수정보완된 시스템에 대한 2차 지상시험 실시
	• 환경시험	• 환경시험(지상장비 위주로)
	• 비행 시험평가	• 국토해양부 점검용 항공기 이용한 비행시험평가 • 국토해양부 항공기 이용 불가시에는 차량탑재시험으로 대체 • 공항/민항기 시스템과 호환성 시험(관련기관 협조시 수행)

본 연구에서는 과제의 목표와 연차별 수행계획에 따라 연구를 수행하였다. 우선, CNS/ATM환경 하에서 다양한 서비스를 제공하기 위해 제안된 항공이동통신 기술내용과 향후 기술발전 전망에 대한 자료를 추가적으로 조사하고 기술발전 전망에 대한 분석을 수행하였다. VDL M2 통신시스템에 대한 국제규격 적합성과 기존 장비와의 호환성을 확인하기 위하여 국제 표준에 대한 추가 자료를 조사하고 해외 기술자문을 통해 설계된 시스템에 대한 설계 검토를 수행하였다. 이러한 과정

을 통해 VDL M2시스템에 대한 기능흐름도와 주요기능을 확정하였다. 이렇게 설계된 시스템을 기반으로 각 구성품에 대한 상세설계를 수행하고 구성품간 최종인터페이스 통제서를 작성하여 제작을 수행하였다. 제작된 구성품 및 시스템은 시험평가를 통해 기능 및 성능을 확인하였다.

본 과제에서 설계된 VDL M2 데이터링크 시스템은 OSI 7계층을 기준으로 물리계층, 데이터링크 계층 및 서브네트워크계층까지를 포함하며 링크를 구성하는 장비는 탑재통신장비와 지상통신장비로 구성된다. 탑재 통신장비는 통신관리기(CMU : Communication Management Unit)와 VHF 송수신기(VDR : VHF Data Radio)로 이루어지며, 지상통신장비는 데이터링크서비스처리기(DSP : Datalink Service Processor)와 지상국(GS : Ground Station)으로 이루어진다. 그리고, VDL은 네트워크 중심 통신시스템으로 기능 시험을 위해서는 통신망이 요구되며, 이를 위해서 본 과제에서는 AOA(ACARS over AVLC)망을 구현하여 DSP와 CMU에 장입하였다. 또한 VDL M2 운용성 평가를 위해 운용시험장비를 개발하였으며, 여기에는 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications), ADS-C(Automatic Dependent Surveillance - Contract) 기능을 포함하고 있다. AOA망과 CPDLC, ADS-C 기능 VDL 관련 핵심기술 확보차원에서 연구를 수행하였으며, 이를 통해 전세계 항공통신 서비스에 대한 많은 기술을 확보하였다.

본 과제를 통해 개발된 연구시제품은 <그림 3-1-4>와 같이 탑재장비로는 탑재 VHF송수신기, 통신관리기 및 탑재운용시험장비로 구성되며 지상장비로는 지상국, 데이터링크서비스처리기(DSP) 및 지상운용시험장비로 구성된다. 개발된 구성품 및 시스템은 구성품시험, 인터페이스 시험, 프로토콜시험, 지상통합시험, 비행시험, 공항시설연동시험 및 민항기연동시험을 통해 기능 및 성능을 확인하였다.



<그림 3-1-4> 개발장비 구성도

그리고, 공항시설 및 민간항공기와의 호환성시험을 위해 DPC기능을 한국공항공사의 도움으로 기능을 구축하여 김포공항의 PDC서버와 호환성 시험을 수행하였으며 (주)대한항공의 협조로 VDL M2기능이 탑재되어 있는 KAL항공기와 PDC호환성 시험을 수행하였다.

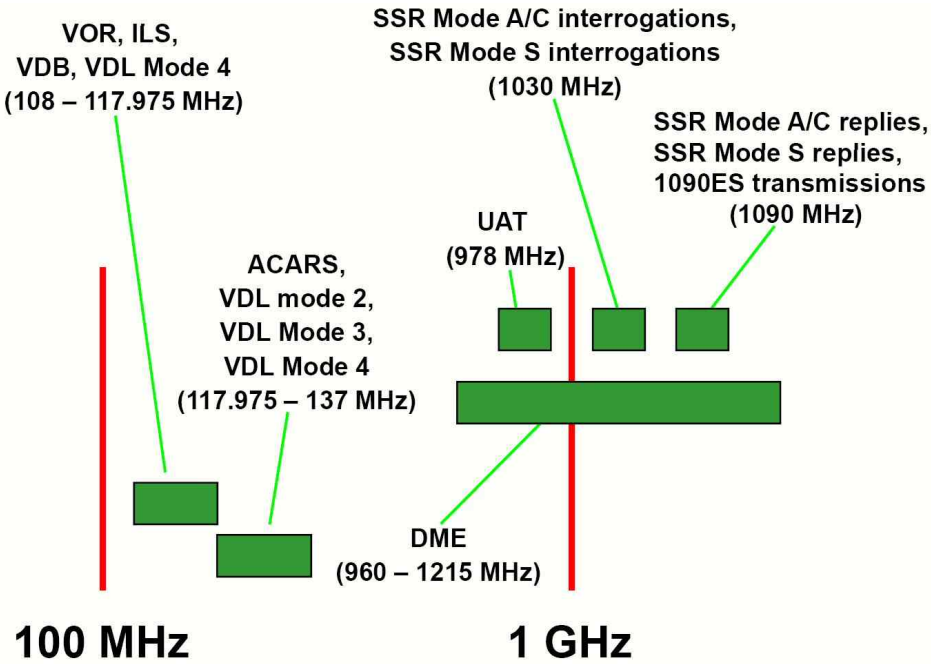
VDB프로토콜 구현연구에서는 GNSS에서의 시스템 성능보강을 위한 VDB통신장비에 대한 프로토콜을 연구하고 GBAS 연구를 위한 Test-Bed에 적용할 수 있는 시스템에 대해 연구하였다. 그리고, VDL M2에 대한 지적재산권(IPR: Intellectual Property Rights) 조사와 관련하여 국내와 해외(미국, 유럽 및 일본)의 특허를 조사하였으며, 조사한 특허에 대해 본 과제와의 관련에 대해서 분석하였다. 분석 결과 관련이 높다고 판단되는 지적 재산권에 대해서는 별도로 극복 대책을 수립하였다.

1. 데이터링크 현황

기지간 무선이동통신 데이터링크는 21세기 항공시스템의 중추적인 역할을 하고 있다. 데이터링크는 많은 다른 형태, 프로토콜 및 응용분야들을 갖는 통신기술에 대한 포괄적인 용어이다. 따라서, 이러한 다양한 기술들은 항공산업 측면에서 투자 결정에 영향을 미치게 된다. 현재 CNS/ATM의 신속한 구축에 장애물은 첨단 기술이 현재의 난제를 해결하는 최적의 방향을 잡지 못하고 있는 것이다. 따라

서, 전통적인 항공 산업이 현재기술과 미래의 곧 실현될 새로운 첨단기술 사이에서 추진 방향을 정하지 못하고 있다.

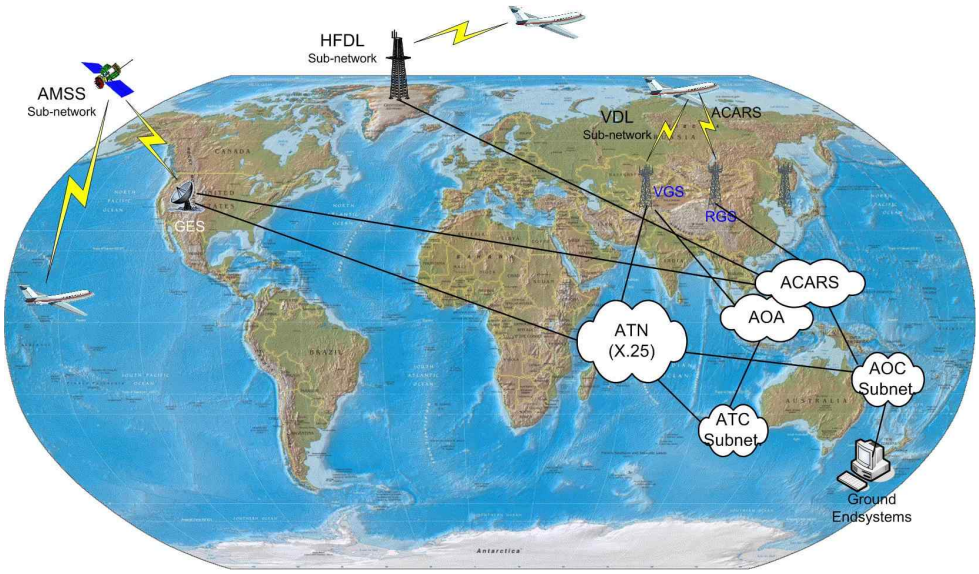
항공서비스에 사용되는 주파수를 살펴보면 <표 3-1-1-1>과 같으며 이중에서 항공통신으로 활용되고 있는 주파수를 살펴보면 <그림 3-1-1-1>와 같다. 현재, 미국, 유럽을 비롯한 항공선진국에서는 새로운 주파수 자원 확보를 위한 노력을 계속적으로 기울이고 있으며, 현재 사용중인 주파수의 효용성 증대 및 재사용을 통한 주파수 효율성 확대를 위한 연구도 계속적으로 추진 중에 있다.



<그림 3-1-1-1> 항공통신 주파수 할당

현재 운용중인 데이터링크는 주로 ATS(Air Traffic Service) 및 AOC서비스를 위해 <그림 3-1-1-2>와 같이 구성되며 내륙에서는 VDL(VHF Data Link)로 현재에는 운용중인 데이터링크는 ACARS와 VDL M2이다. 현재 서비스되고 있는 현황을 살펴보면 <그림 3-1-1-3>과 <그림 3-1-1-4>에서 보듯이 ACARS가 약 95%이상의 서비스를 담당하고 있고 나머지를 VDL M2가 담당하고 있으며 VDL M2의 경우에는 전 세계적으로 구축단계로 계속적으로 서비스 지역 및 서비스 비중이 증가하고 있다. 그리고, VDL 서비스가 어려운 대양지역은 위성데이터링크(AMSS)로 서비스되며 위성의 운용영역을 벗어나는 극지의 경우에는 HFDL이 서비스되고

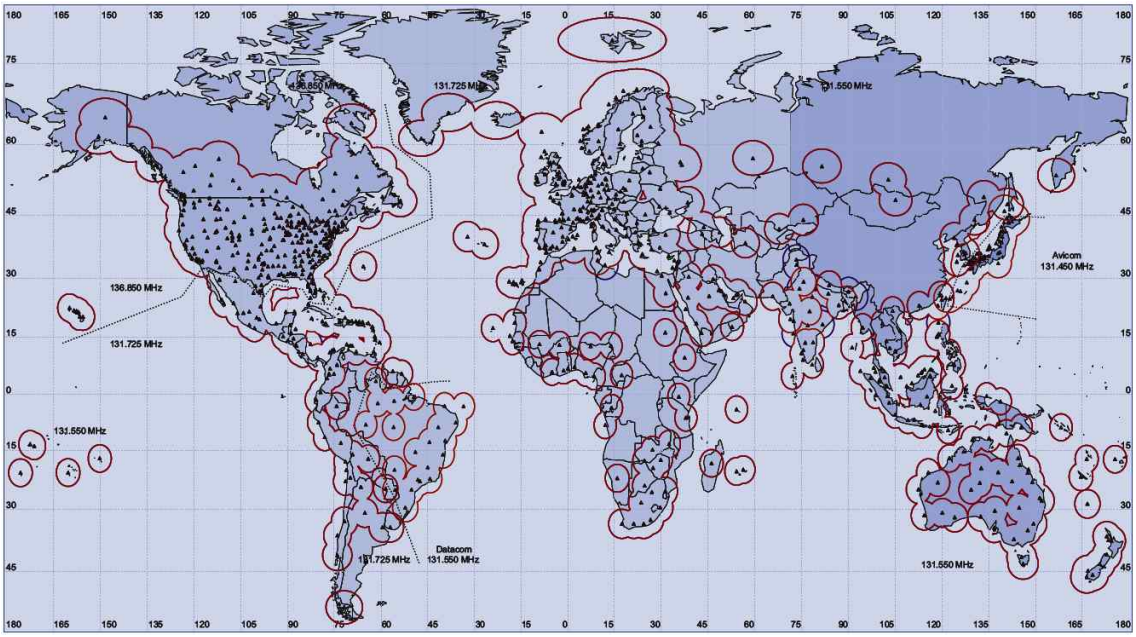
있다. 지상 시스템간의 연결을 위한 지상망은 VDL Mode 2가 출현하면서 ISO 8208 X.25망을 근간으로 ATN망을 표준화하였으나 지상망 인프라 구축에 대한 이해관계로 인해 아직 구축되지 않고 있으며, VDL M2 운용을 위한 지상망으로는 기존의 ACARS망을 일부 수정한 AOA망을 사용 중에 있다. 그리고, Mode S데이터링크는 1991년도부터 항공기간 ACAS(Airborne Collision Avoidance System)의 기동 협력을 위해 사용되고 있으며 Mode S 1090ES의 경우에는 시스템의 방송기능을 활용하여 ADS-B기능에 활용을 추진하고 있다.



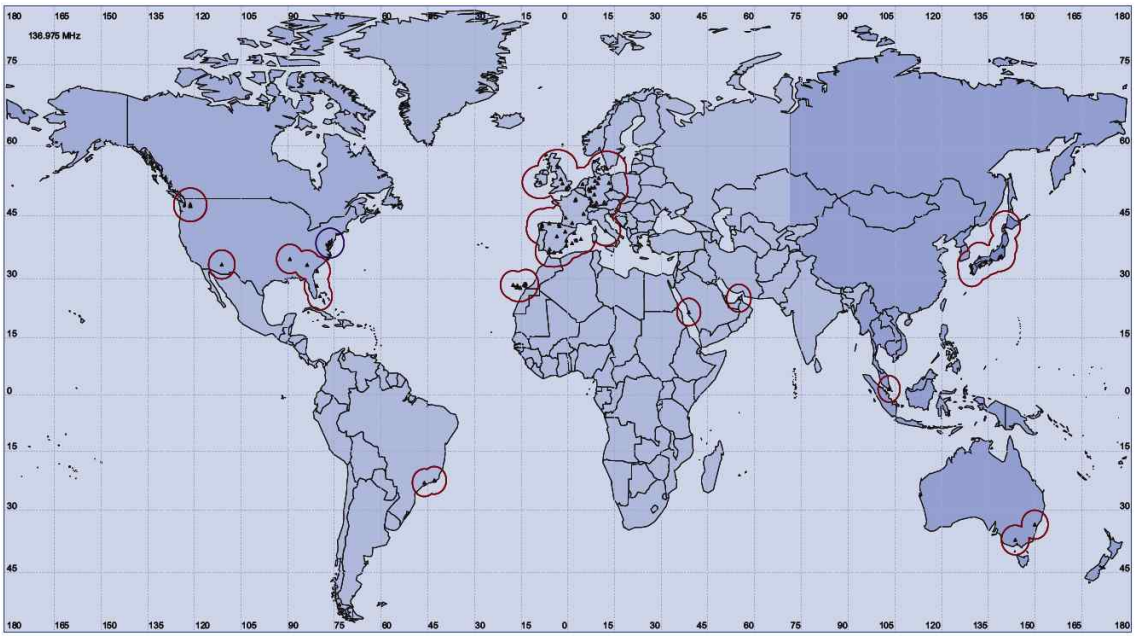
<그림 3-1-1-2> 항공통신망과 항공데이터링크

<표 3-1-1-1> 항공서비스 주파수 할당 현황

주파수 대역 (MHZ)	서비스 명	비 고(약어)
0.13-0.5265	NDB	NDB:Non- Directional Radio Beacon
2.85-22	HF COM	
74.8-75.2	Marker	
108-111.975	ILS/LOC, VOR, GBAS	ILS: Instrument Landing System GBAS: Ground Based Augmentation System
112-117.975	VOR, GBAS	VOR: VHF Omni-directional Radio Range
117.975-134	VHF COM	VHF 아날로그 음성통신
134-137	VHF Data	
328.6-335.4	ILS GP	GP : Glide Path
406-406.1	ELT	ELT : Emergency Locator Transmitter
960-1024	DME	DME: Distance Measuring Equipment
1030-1031	SSR/ACAS	SSR : Secondary Surveillance Radar ACAS: Airborne Collision Avoidance System
1088-1093	SSR/ACAS	
1215-1260	GNSS + GPS/GLONASS)	GNSS : Global Navigation Satellite System GPS : Global Positioning System GLONASS : Global Navigation Satellite System
1260-1400	Pri Radar	
1525-1559	SAT COM	
1559-1626.5	GNSS +GALILEO	
1626.5-1660.5	SAT COM	
2700-3300	Radar	
4200-4400	R. ALT	
5030-5150	MLS	MLS : Microwave Landing System
5107-5150	CL	
5091-5106	ANLE	ANLE : Airport Network and Location Equipment
5350-5470	Wx Radar	Weather Radar
8750-8850	Dop Radar	
9000-9500	ASDE	ASDE: Airport Surface detection Equipment
13250-13400	Dop Radar	
15400-16600	ASDE	
31800-33400	ASDE	



<그림 3-1-1-3> ACARS 통신서비스 영역(2007년, SITA사)



<그림 3-1-1-4> VDL M2 통신서비스 영역(2007년, SITA사)

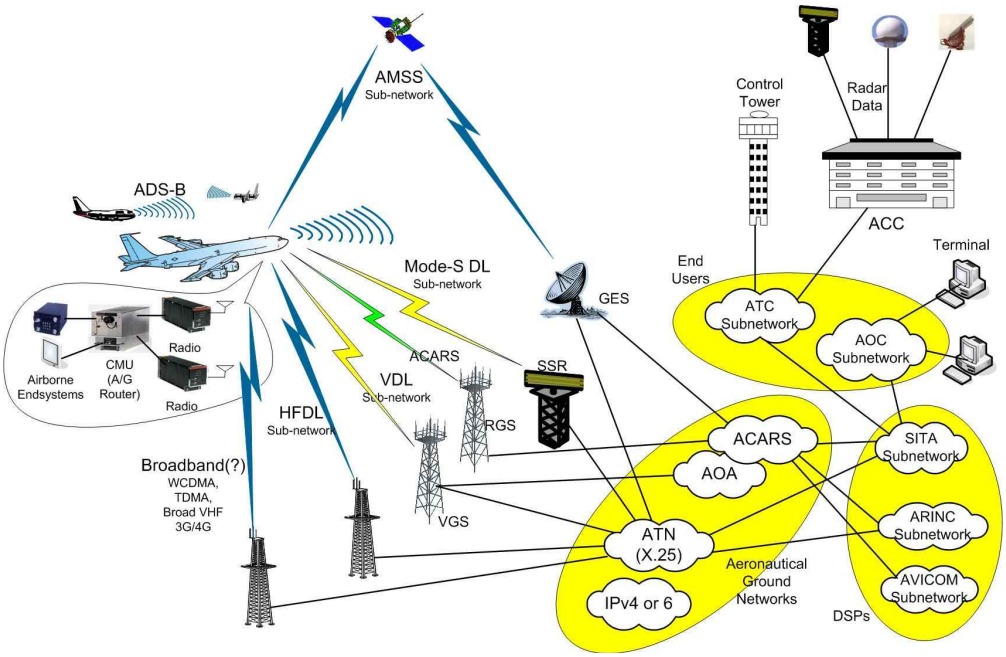
그 동안 항공통신은 아날로그 음성통신에 의존하고 있었고 현재에도 항공교통관제(Air Traffic Control) 업무의 중심에는 조종사와 관제사의 음성교신이 매우 중

요한 수단으로 활용되고 있다. 1978년 ARINC사는 최초로 민간항공사의 항공운항관리통신(AOC) 용도로 VHF대역의 텍스트 기반의 공대지 항공용 메시지를 전송하는 ACARS 서비스를 제공하기 시작하였다. 그러나 ACARS는 낮은 데이터 전송률(2400bps)로 항공교통업무에서의 본격적인 활용은 매우 제한적으로 대부분은 항공사의 AOC용도로 활용되고 있다.

항공통신 분야에서 데이터링크 기술의 효용성을 확인한 관련 기관들은 ACARS를 대체할 새로운 국제 공용의 표준 데이터링크 기술의 필요성을 공감하게 되었다. 이에 따라 새로운 VHF Digital Link(VDL)기술들이 제안되었으며 국제민간항공기구의 기술표준(SARPs)으로 승인되었다. 또한 국제민항기구는 항공통신망(ATN)이 포괄하는 기지간 무선이동 서브네트워크로 VDL 기술뿐만 아니라 HFDL, Mode-S, AMSS와 같은 데이터링크 기술을 항공통신망과 연계된 표준기술로 채택하였으며 이를 활용할 수 있는 관련 애플리케이션을 정의하여 회원국이 적극적으로 구축하여 사용할 것을 권장하고 있다. 또한, 현재의 제안된 기술로는 향후에 요구되는 서비스를 충족하기에 부족하므로 새로운 항공주파수 개척과 광대역 이동통신이 가능한 상용의 3G, 4G기술을 항공통신에 적용하기 위한 연구를 꾸준히 수행하고 있다.

<표 3-1-1-2> 항공데이터링크의 서비스 특성

구분	Air-to-Gnd Datalink	Air-to-Air Datalink	Air-to-Air Broadcast	Uplink Broadcast	Downlink Broadcast
VDL M1/ ACARS	✓				
VDL M2	✓			✓	
VDL M3	✓				
VDL M4	✓	✓	✓	✓	✓
Mode-S EHS				✓	✓
1090 ES			✓	✓	✓
UAT			✓	✓	✓



<그림 3-1-1-5> 기지간 데이터링크 및 항공통신망의 개념도

가. VHF데이터링크(VDL)

항공이동통신용 초단파(VHF) 대역인 118-136.975MHz 사이의 채널을 이용하는 VHF 통신은 항공교통관제(ATC), 항공운항관리(AOC) 통신에 사용되는 중요한 무선통신 수단으로 사용되고 있다. 하지만 VHF 대역을 이용한 무선통신의 경우 비교적 양호한 음성통화 품질에도 불구하고 통달거리가 가시거리(LOS)로 제한되는 문제와 제한된 채널수(25kHz 채널폭 기준 760개)로 인해 이용가능한 주파수 자원이 한정되는 문제를 내포하고 있다. VHF 대역에서의 주파수 자원문제는 특히 항공교통량이 많고 공역이 밀집된 유럽과 미국에서 심각한 문제로 대두되었다. SP COM/OPS/95 회의에서 유럽지역 VHF 통신의 혼잡을 완화시키기 위한 단기 해법으로 8.33 kHz로의 채널 간격 축소를 결정하였다. 이 해법은 ICAO의 항공이동통신기술패널인 AMCP(현재는 ACP로 변경)에서 개발되어 1996년부터 적용되었다. 1999년 10월 7일 유럽의 핵심 지역(오스트리아, 벨기에, 프랑스, 독일, 룩셈부르크, 네덜란드, 스위스)의 고고도 비행정보구역(FIR/UIR) 안에서 처음으로 구현되었으며, 이곳에서는 현재 FL 245 이상에서 운용되거나 운용 가능한 모든 항공기는 필수적으로 8.33kHz 채널 지원 음성 통신장비를 탑재하도록 하고 있다. 8.33kHz 간격 사용은 추가로 19개 국가로 확대되었으며 이들 국가들은 예외 없이 2002년 10

월 31부로 FL 245 이상에서는 8.33kHz 운용을 시작하였다. FL 245 이상 공역에서의 8.33 kHz 장비의 필수 탑재는 2002년 10월 이후 다른 유럽 국가들로 계속 확대되고 있다. 2002년 12월 ICAO EANPG/44회의에서는 8.33kHz 운용을 낮은 공역으로 확장하기로 결정하였다. 이 결정에 따라 2006년 이후 ICAO EUR 지역에서 FL 195부터 시작하는 단계적인 구현계획이 예견되고 있다. 1980년대 항공 산업에서는 AOC 음성 서비스를 보충하는 데이터 통신 시스템의 필요성을 인식하였다. 원래 운항관리용 툴로 고안되었던 VHF ACARS 는 민간단체인 AEEC(Airlines Electronic Engineering Committee)에 의해 개발되었는데 항공기가 언제 출발하고 어느 때 정해진 게이트에 도착하는지를 알려주기 위한 항공기와 지상국 간의 자동적인 메시지 전송을 위해 개발되었다. 민간 표준안으로 ARINC 규격서 618-5가 제정되었다.

<표 3-1-1-3> VDL Mode별 주요 특성 요약

구분	ACARS	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
주파수 (MHz)	131.55	118~137	118~137	118~137	118~137
채널간격 (KHz)	25	25	25	25	25
변조방식	AM-MSK	AM-MSK	D8PSK	D8PSK	GFSK or D8PSK
다중접속	non-persistent CSMA	p-persistent CSMA	p-persistent CSMA	TDMA	STDMA
Protocol	ACARS	AVLC	AVLC	AVLC	AVLC
데이터전송률 (Kbps)	2.4	2.4	31.5	31.5	19.2(GFSK) 31.5(D8PSK)
서비스 유형	데이터	데이터	데이터	데이터, 음성(4.8Kbps)	데이터
응용분야	AOC/ATC	AOC/ATC	AOC/ATC	ATC	ATC
ICAO표준화	No	No	Yes	Yes	Yes
비 고				디지털 음성교신 가능	감시용

(1) ACARS와 VDL Mode 1

ACARS 데이터 링크는 텍스트 기반 서비스로써, 공유된 25kHz 폭 채널 상에서 2.4kbits/sec의 전송률을 특징으로 한다. ACARS는 MSK(Minimum Shift Keying) 변조 방식을 사용하며 채널 접근 방식은 CSMA로 스펙트럼 효율성에 제한이 있다. ACARS 프로토콜은 ICAO 표준이 아니며 현재 대략 만여 대의 수송기와 상업용 항공기가 VHF 대역에서 운용되는 ACARS를 장착하고있다. 국제민간항공기구는 비트 기반의 향상된 메시지 무결성을 제공하고 ATS에 적합한 VHF 대역의 데이터링크 시스템을 채택하기로 하고 ACARS 물리계층(변조 방식, 데이터 전송률과 채널 접근 프로토콜)에 근거한 VDL Mode 1 기술을 개발하였다. 이 표준은 1996년에 적용가능하게 되었으나 후에 ICAO의 부속서(Annex) 10에서 삭제되었다. 이유는 VHF Mode 1의 구현 계획이 존재하지 않았고 반면에 더욱 높은 수준의 성능을 보유한 VDL Mode 2의 구현이 벌써 진행 중이었기 때문이었다.

(2) VDL Mode 2

VDL Mode 2 기술은 Mode 1 기술을 개량한 것으로 데이터 전송률은 31.5kbps이며 D8PSK 변조 방식을 채택하고 있다. ATN 호환의 비트 기반 프로토콜로 ACARS와의 하위 호환성을 유지하기 위하여 ATN 비호환 인프라에서 사용되는 문자기반 메시지를 처리하는 방식(AOA)을 제공한다. 그러나 CSMA 채널접속을 사용하고 있기 때문에 교통량이 많은 공역에서 Time Critical 한 애플리케이션을 지원하는 데에 한계가 있으며 메시지 우선순위 처리나 전송 시간을 완벽히 보장할 수 없는 것이 단점으로 지적되고 있다. VDL Mode 2 기술은 136.975MHz 채널을 전세계 공통 채널(CSC)로 할당하고 있다. ICAO 표준안은 1997년 공표되었으며, 단기 전망으로 ACARS 기반 네트워크와 애플리케이션을 대체할 수단으로 VDL Mode 2 기술의 사용이 유력하다.

(3) VDL Mode 3

VDL Mode 3 기술은 VDL 기술 중 유일하게 음성과 데이터 전송이 모두 가능하다. VDL Mode 3는 Mode 2와 동일한 물리계층을 사용하지만 TDMA 방식을 채택하고 있다. 25kHz 단위의 채널을 사용하며 한 프레임을 4개 혹은 3개의 슬롯으로 분할하여 Vocoder를 이용한 디지털 음성과 데이터를 동시에 사용할 수 있도록

고안되었다. 다른 VDL 기술과 마찬가지로 ATN과 호환되는 서브네트워크이며 2001년 11월 ICAO 표준안이 공표되었다.

VDL Mode 3 기술은 VHF 음성통신에서 이미 8.33kHz로 채널폭을 축소하여 사용하기로 결정한 유럽에서는 관심이 없었으며 미국과 일본에서 주로 연구가 진행되었다. 유럽과 달리 미국은 음성채널의 혼잡을 VDL Mode 3 기술로 해결하기 위해 VDL Mode 3 기술 및 제품개발에 투자하였으나 VDL Mode 3 구축과 통신 인프라 개선사업으로 의욕적으로 추진되던 구현사업인 NEXCOM 프로그램에서 VDL Mode 3 구축이 현재 잠정 중단된 것으로 알려져 있다.

(4) VDL Mode 4

VDL Mode 4 기술은 1980년대 말 스웨덴에서 최초로 개발되었다. VDL Mode 4는 초기에 CNS/ATM 애플리케이션의 항법 및 감시용 데이터링크를 목적으로 고안되었다. VDL Mode 4는 STDMA (Self-organizing TDMA) 기법과 GFSK 변조방식을 채택하고 있으며 19.2 kbps의 데이터 전송률을 지원한다. VDL Mode 4는 다른 감시용 데이터링크인 Mode S ES, UAT는 달리 데이터 전송률이 작아 다수의 채널을 사용하며, 이에 따라 기본적으로 2개의 전역신호채널(GSC) 이외에 이용지역 및 애플리케이션 특성에 따른 별도 채널(region and local channel)이 요구된다. 주로 스위덴을 중심으로 한 유럽에서 관련 기술에 대한 연구와 시범운영이 활발하며 ICAO 표준안은 2001년 11월 공표되었다.

VDL 기술은 VHF 대역을 이용하는 데이터링크 라는 공통성으로 모드별로 유사성과 차이점을 동시에 지니고 있다. 전술한 바와 같이 각 모드별 데이터링크는 용도에 따라 다르게 고안된 기술이며 구축을 원하는 CNS/ATM 애플리케이션에 따라 적합한 링크의 선정이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

나. HFDL 기술

HFDL은 HF 대역을 이용한 데이터링크 기술이다. 항공용 이동통신서비스영역으로 할당된 2.85MHz - 22MHz 사이의 주파수 대역에서 3kHz 간격으로 서비스가 운용된다. HF 음성통신은 장거리 항공이동통신 수단으로 오래전부터 이용되어 왔다. 대양과 오지(remote region)를 비행하는 항공기와 항공교통관제기관 사이의

ATS 음성 통신 교환을 지원하며 항공기와 항공사의 운항관리센터 간의 항공운항관리통신에도 사용된다. HF 음성통신은 수천 킬로미터까지의 장거리 통신이 가능하지만 태양 활동과 다른 자연현상에 영향을 많이 받는다. 이로 인해 통달거리와 가독성이 유동적이며 어떤 주파수의 경우는 때에 따라 사용이 불가능하기도 하다. 일반적으로 이 시스템을 효과적으로 이용하기 위해서는 특수하게 훈련된 무선사(Radio operator)와 숙련된 조종사가 필요하다. HF 음성통신은 장거리 항공교통관제를 위한 통신링크로 아직까지 유지되고 있다.

1990년대 항공사 관련 산업에서는 HF 통신을 개선하기 위한 방법을 강구하였다. 군용 기술로 출발한 HF Data Link (HFDL)를 민간항공용으로 사용하기 위해 기술을 개선하고 HF 음성통신에서와 같은 주파수와 장비를 이용할 수 있게 하였다. HFDL은 SSB 디지털 변조 방식으로 3kHz 채널단 위로 운용되며 2.4kbits/s까지의 처리량(throughput)을 제공한다. HFDL은 무선 주파수와 데이터 전송률에 따라 자동으로 적응/변화하는 프로토콜로 넓은 에러 감지 및 보정 알고리즘을 포함하기 때문에 HF음성보다 전송 조건에 따른 민감도가 적다. HFDL시스템은 ATN의 서브 네트워크로써 작동하도록 설계된 비트 기반 데이터 프로토콜을 사용한다. 또한 현재 항공사의 데이터 통신 인프라와 호환성을 갖게 하기 위하여 문자 기반의 ACARS 메시지를 지원하고 있다. HFDL의 평균 전송 지연값은 75초이고 95% 전송 보장의 경우 200초이다. 현재 AOC 용도로 전 세계적으로 사용되고 있다. 또한 북태평양과 북대서양 지역에서의 ATS 구현을 위한 사전 운용점검 시험에도 활용되고 있다. 통신위성 기술의 발전에 따라 HF 기술은 소멸될 것처럼 보이나 정지궤도 통신위성이 없는 지역이나 도달할 수 없는 극 지방에서 위성통신의 백업으로 사용될 가능성은 남아 있다. HFDL에 대한 ICAO SARPs는 ACP에서 개발되었으며 1999년부터 적용되었다. 전 세계적인 상업용 서비스가 현재에도 가동 중이다.

다. AMSS 기술

항공위성통신서비스(AMSS)는 정지 위성을 이용하여 디지털 음성과 데이터 서비스를 제공하며 이동통신용 위성서비스 주파수 대역인 1545MHz-1555MHz와 1646.5MHz-1656.5MHz 사이의 UHF 주파수를 사용한다.

중요한 메시지의 안전성을 보장하기 위해 AMSS의 표준안에는 메시지에 우선

권과 선점권을 주는 방식을 채택하고 있다.

AMSS는 항공종합통신망(ATN)의 서브네트워크의 일종으로 설계되었고 ACARS 메시지를 지원하고 있다. AMSS는 남태평양 지역에서 FANS-1/A를 통해 항공교통업무(ATS)를 지원하는데 사용되고 있으며, 평균 전송 지연값 요구사항으로 30초 이하를 명시하고 있다. 또한 북대서양 지역에서 ADS(ADS-C)로 경로점(waypoint) 보고가 가능한 항공기의 FANS-1/A 서비스를 지원하는데 활용되고 있다. AMSS의 디지털 음성 부분은 지상의 공중 전화 교환망(PSTN)과 ATS 음성 네트워크와 인터페이스 되고 항공승객통신(APC)과 항공교통업무통신(ATS) 및 항공운용관리통신(AOC)을 위한 고품질의 음성통화 서비스를 제공하도록 구성되었다. 몇몇 AMSS 통신 서비스 제공자들은 비상 상황과 비정상 항로 비행시 통신 수단으로 AMSS를 사용할 수는 방안을 제공하고 있다. 대략 3000대의 항공기가 위성통신 시스템을 탑재하고 있으며 대부분은 항공승객통신용으로 사용되고 있지만 ATS와 AOC용 음성통신이 가능하도록 되어 있다.

ICAO SARPs와 참고 자료는 1995년 최초 공표되었으며 2000년에 갱신이 완료된 상태이다. Inmarsat 상업용 통신위성시스템은 AMSS를 지원하고 극지방을 제외한 대부분의 영역을 커버하고 있으며 또한 일본에서 MSAS 프로그램으로 발사된 MTSAT 위성이 태평양 지역에서 운영되고 있다.

라. Mode S 및 Extended Squitter 기술

SSR Mode S는 최신의 지상 기반 이차감시레이더(Second Surveillance Radar) 시스템 기술이다. SSR Mode A/C와 Mode S 감시 기능에 더하여, Mode S는 ATN 호환 서브네트워크로 정의되며 데이터링크 기능을 지원한다. 운용 주파수로 UHF 대역의 고정주파수 채널을 이용하며, 업링크(지상에서 항공기)로는 1030MHz, 다운링크(항공기에서 지상)로는 1090MHz를 사용한다. 확장 스퀴터(Extended Squitter)는 자동종속 감시기능(ADS-B)을 지원하고 ACAS를 강화하기 위해 설계된 Mode S 시스템의 추가적인 기능 확장으로 볼 수 있다. 확장 스퀴터는 항공기 위치, 속도, 식별 ID와 관련된 정보를 제공하는 일련의 방송 메시지로 구성된다. 또한 현재의 Mode S 데이터링크와 동일 포맷을 사용하고 Mode S의 다운링크 주파수인 1090MHz를 통해 운용된다. 1090MHz 채널을 통해 항공기가 방송하는 정보

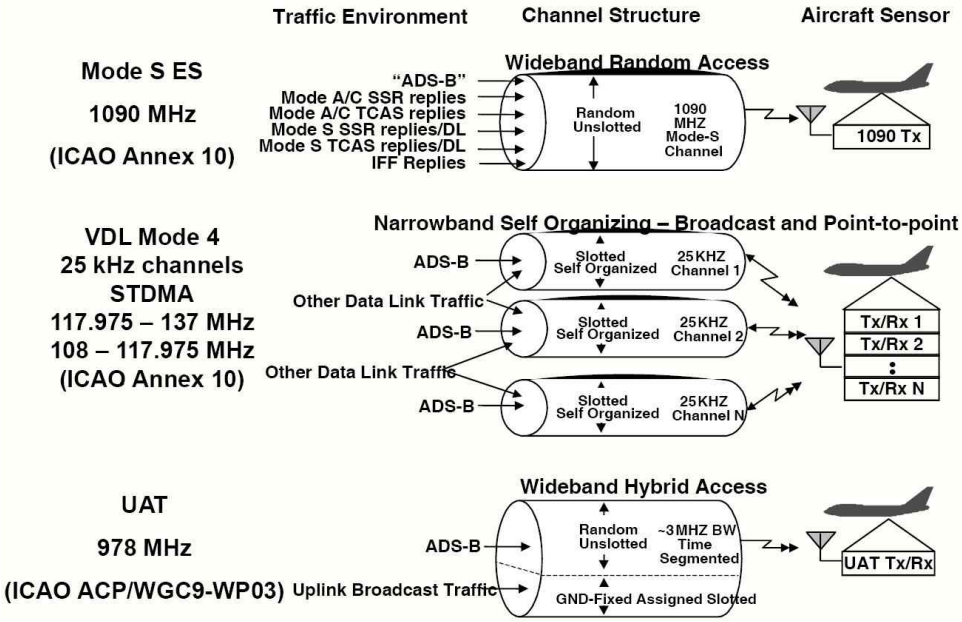
를 이용하는 Mode S 기반의 ADS-B 메시지는 Mode S 확장 스퀴터 포맷으로 구성된다. 확장 스퀴터 메시지는 112 비트길이이며 이 중 24 비트는 패리티로 사용된다. 채널 접속방식은 랜덤하게 이루어지며 데이터 전송률은 약 1 Mbit/set이다. 확장 스퀴터 방식은 기존의 항공교통관제원격 비콘시스템(ATCRBS)과 Mode S 응답을 공유하게 된다. 이전의 Mode S 스퀴터는 56비트 길이의 메시지를 사용했기 때문에 여기에 확장(Extended)의 의미가 추가되었다.

SSR Mode S 기술표준(SARPs)은 1996년 국제민간항공기구에 의해 승인 후 공표되었다. ADS-B를 위한 확장 스퀴터 메시지 포맷과 전송률은 ICAO의 이차감시레이더 개선 및 충돌방지시스템 기술패널(SICASP)이 중심이 되어 RTCA 특별기술위원회 186과 EUROCAE Working Group 51의 협조로 정의 되었다. RTCA와 EUROCAE는 2000년에 각 기국의 표준안을 제정, 승인하였으며 최근까지 ICAO 표준안 및 개별 표준에 대한 보강과 수정작업을 지속적으로 진행하여 확장 스퀴터 시스템의 통달범위를 강화하고 TIS-B 기능을 지원하는 부분 등을 추가하였다.

마. UAT 기술

ADS-B 데이터링크 기술 중 가장 뒤늦게 개발된 UAT(Universal Access Transceiver)는 ADS-B와 지대공 데이터 방송 기능을 지원하도록 설계되었다. UAT는 미국의 MITRE사에서 기반기술로 최초 개발되었으며 이후 관련 기술이 Sensis사, Garmin사 등의 산업체로 이전되었다. UAT는 항공기와 지상기반의 데이터 방송 애플리케이션을 지원하여 감시기능 및 주변상황인식능력(situational awareness)을 제고할 수 있도록 최적화되었다. UAT는 UHF 주파수 대역인 960-1215MHz 범위에서 운용되도록 설계되었다. 개발 초기에는 966MHz의 실험 주파수를 사용하여 운용시험을 수행하였고 알래스카 지역에서의 시범 운용에서는 한때 981MHz를 사용하기도 하였으나 현재는 978MHz를 사용하는 것으로 정해져 있다. UAT는 광대역 데이터링크로 단일 채널로 운용되며 데이터 전송률은 약 1Mbps/sec 정도이다. 매체접속방식은 1초 단위의 프레임을 두 부분(segment)으로 시분할하여 다중접속을 가능하도록 하고 있다. 개별 프레임의 전반부는 기상기반 방송 서비스(예로 TIS-B, FIS-B)에 할당되며 후반부는 ADS-B 용으로 할당된다. 지상기반 방송 부분에는 메시지 중첩을 피하기 위해 시분할 방식을 이용하는 반면

에 ADS-B부분에서는 랜덤 매체접속 방식으로 동작된다. UAT 장비는 미연방항공국(FAA)의 Safe Flight 21 프로그램, SATS 프로그램에서 ADS-B 장비로 활용중이며 많은 GA(General Aviation)급 항공기에 탑재되어 효용성을 입증하고 있다.



<그림 3-1-1-6> ADS-B용 데이터링크 특징

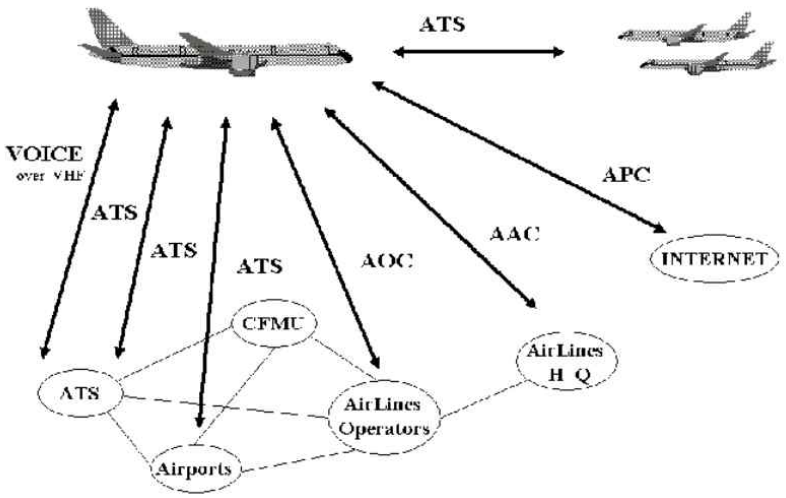
2. 항공데이터링크의 활용(Content Applications)

민간항공기 분야에서의 데이터링크의 활용 분야는 응용에 따라 크게 항공교통서비스(ATS: Air Traffic Services), 항공운항관리통신(AOC: Airlines Operational Communications), 항공행정통신(AAC : Airlines Administrative Communications), 항공승객통신(APC : Aeronautical Passenger Communications)로 나누어 진다. 여기서, ATS는 항공교통관제(ATC : Air Traffic Control)로 활용됨으로 ATS응용분야를 ATC라고 일컫기도 한다. 항공통신 서비스는 정보의 흐름을 기준으로 <그림 3-1-2-1>와 같이 나타낼 수 있으며, 통신서비스는 5가지 형태로 식별할 수 있다.

○ ATS 음성통신 : 관제사와 조종사간의 음성통신으로 향후에는 보안강화를 위해 디지털 정보의 일부가 될 것이다. 현재에는 항공 VHF채널을 수신

할 수 있고 해독할 수 있어 안정성에 문제가 있음.

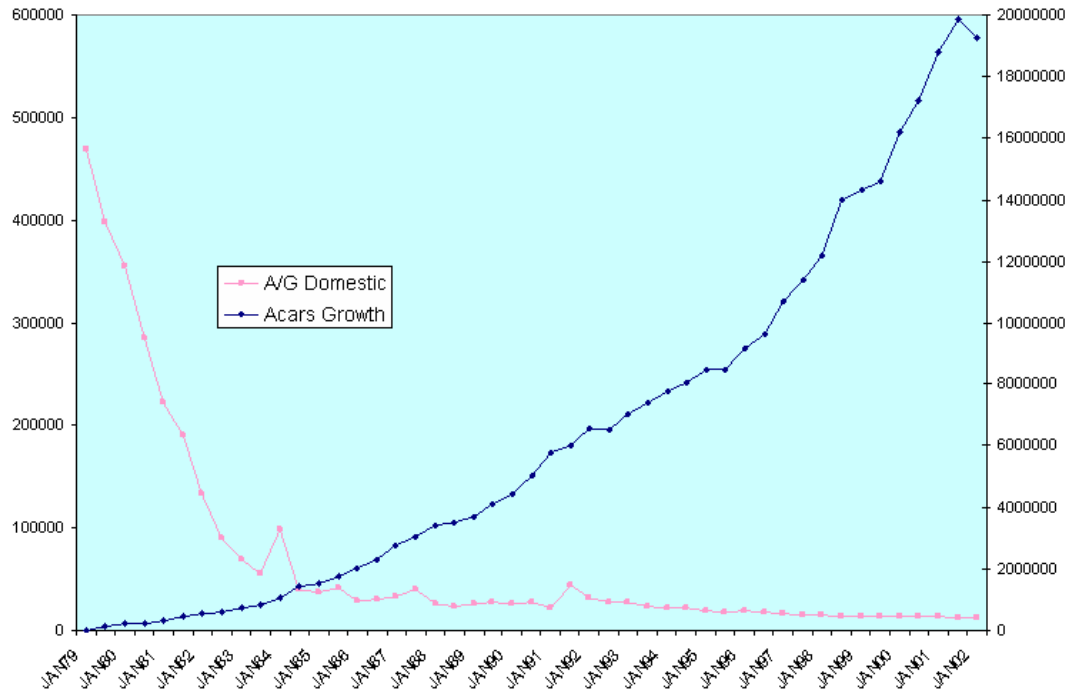
- ATS 통신 : 국가 민간항공운항국(CAA : Civil Aviation Authorities)의 통제하에 비행관리를 위해 조종석과 지상근무자간 정보 교신이나 항공기간의 정보 교신
- AOC : 비행 운용, 관리 및 정비를 위해 항공사의 지상요원과의 정보 교신
- AAC : 객실관리 및 비행중 승객서비스 지원을 목적으로 활용되는 통신.
- APC : 승객이 사용하는 메일, 음성통화, 인터네서비스, 팩스 등을 위한 통신.



<그림 3-1-2-1> 항공통신 서비스

그동안 항공통신은 아날로그 음성통신에 의존하고 있었고 현재에도 항공교통관제(Air Traffic Control) 업무의 중심에는 조종사와 관제사의 음성교신이 매우 중요한 수단으로 활용되고 있다. 아직도 대부분의 항공통신서비스는 음성통신이 위주가 되고 있지만 사실 오래전부터 항공통신 분야에도 데이터통신 기술이 활용되어 왔다. 특히 AOC분야에서는 <그림 3-1-2-2>에서 보는 바와 같이 AOC음성통신을 대체하고 있음을 알 수 있다. 항공 데이터링크는 주소할당 데이터링크와 방송 데이터링크로 구분할 수 있는데 주소할당 데이터링크 마치 휴대폰을 사용하는 것과 같

이 질의/응답으로 구성되는 기능을 갖는다. 주소할당 데이터링크는 1978년 ARINC사는 최초로 민간항공사(airline)의 항공운항관리통신(AOC) 용도로 VHF 대역을 이용한 ACARS 서비스를 제공하기 시작하였다. ACARS Message 최초활용은 AOC용으로 OOOI(Out, Off, On, In) 서비스로 활용되었다. ACARS는 텍스트 기반의 공대지 항공용 메시지 전송 서비스로써, 현재 VHF 대역을 이용한 항공이동통신과 정지궤도 통신위성을 이용한 서비스를 항공기의 비행 전 영역에서 제공하고 있다. <표 3-1-2-1>은 민항기가 ACARS를 통해 항공사의 중앙 운영센터(Airline Operational Center)로 자동 전송하는 OOOI 메시지를 설명하고 있다.



<그림 3-1-1-2> AOC분야에서의 아날로그 음성 대비 Data Link의 활용 증가

<표 3-1-2-1> ACARS를 통해 전달되는 OOOI 메시지의 종류와 내용

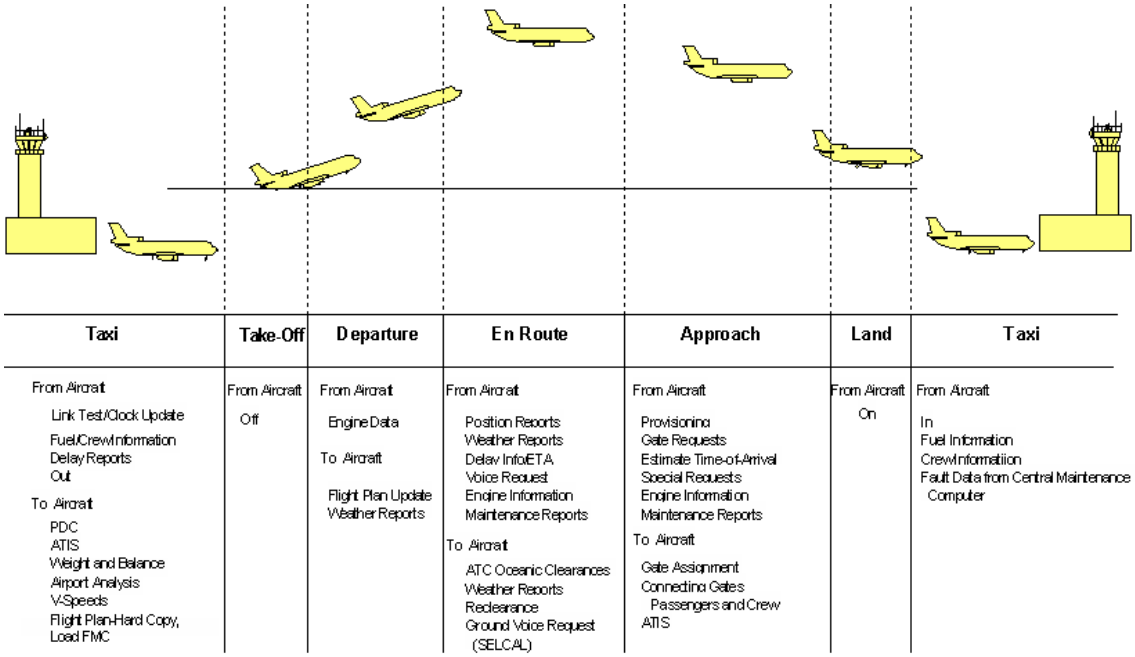
Event	항공기 기동 설명	Message 콘텐츠
Out	Leaving gate or parking position	Out time
Off	Take off	Off time
On	Touch down	On time
In	Arrival at gate or parking	In time
Retrun-to-Gate	Returns to gate after Out event	Return time
Touch-and-Go	Takes off immediately after landing	T&G time

1978년 ARINC사는 최초로 민간항공사(airline)의 항공기와 항공사 중앙운영센터 사이의 항공운용관리통신을 위해 대부분의 항공기에 ACARS 장비를 장착하게 된다. 항공운항관리통신(AOC)에서 비롯된 이러한 투자와 데이터링크에 관한 경험은 항공교통서비스 제공자인 항공교통관제기관에게도 관심과 자극이 되었으며, ACARS를 항공교통업무(ATS)에 활용하는 것을 모색하기에 이르렀다. 항공교통서비스 영역에서 현재 가장 보편적으로 운용중인 애플리케이션으로 1991에 출현한 PDC와 D-ATIS가 있으며 대부분 ARINC와 SITA가 제공하는 ACARS 무선통신망과 네트워크를 활용하고 있다. 그러나 낮은 데이터 전송률(2400 bps)과 같은 ACARS 기술의 한계로 항공교통업무에서의 본격적인 활용은 매우 제한적이며, 이에 따라 여전히 ACARS 서비스의 대부분(95%)은 항공사의 AOC 용도로 제한되고 있다. 현재 ACARS를 사용한 AOC용으로 사용되는 메시지를 비행 단계별로 살펴보면 <그림 3-1-2-3>과 같다.

1995년에는 FANS 1이 항공교통 서비스로 승인되면서 CPDLC, ADS, AFN이 출현하게 되었다. 이중에서 CPDLC와 AFN은 주소할당 데이터링크를 이용하고 ADS는 방송데이터링크를 활용하고 있다.

방송데이터링크를 통해 수행되는 서비스는 ADS-B, FIS-B 및 TIS_B가 대표적

이다. ADS-B는 항공기나 지상차량에서 관측된 수평위치, 고도, 수평 및 수직 속도와 각종 속성정보를 주기적으로 방송하여 기상 및 지상 감시의 성능을 크게 개선한다. FIS-B는 비행서비스 정보를 지상에서 항공기로 방송하는 기능으로 이러한 정보에는 NOTAM, 기상 및 터미널 정보를 포함하고 있다. TIS-B는 교통정보를 콕핏에 현시할 수 있는 항공들이 활용할 수 있도록 지상 기반시스템에 의해 수집된 감시자료를 방송하는 것을 말한다. 지금 사용 중이거나 향후에 출현할 항공데이터링크를 활용한 컨텐츠 응용을 살펴보면 <표 3-1-2-2>과 같이 요약할 수 있다.

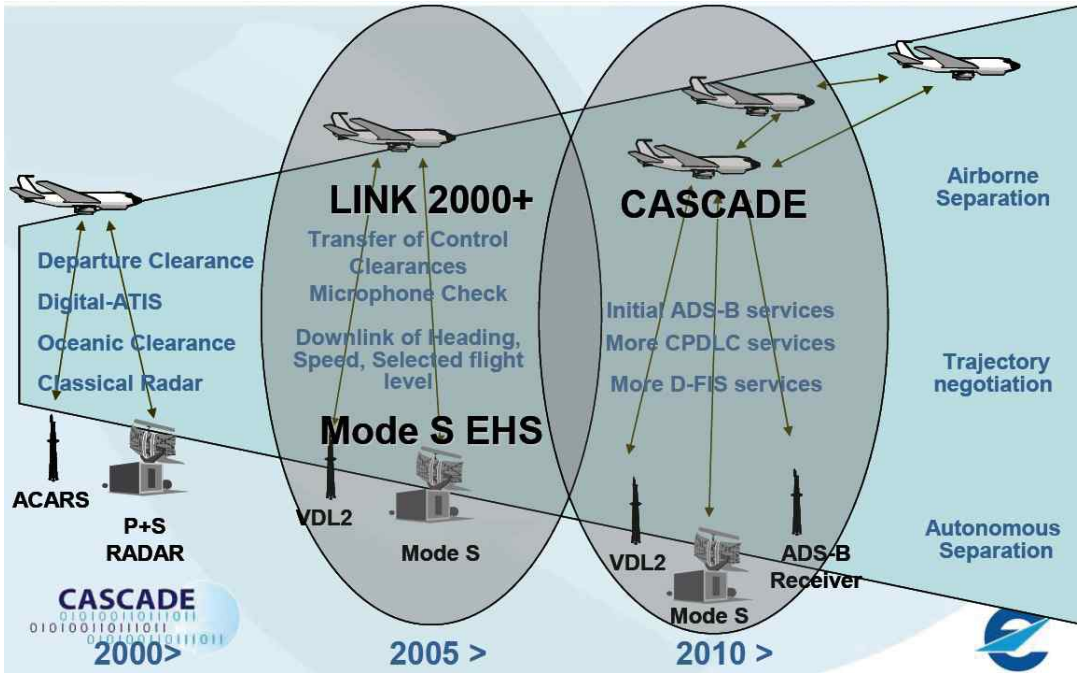


<그림 3-1-2-3> 비행단계별 항공사에서 운용중인 메시지(AOC메시지)

<표 3-1-2-2> 항공통신 응용분야 요약

구 분		응 용(컨텐츠)	비고
ATS	ATC	ADS-B, ADS-C, CPDLC, D-ATIS, TWIP, PDC/DCL, TIS-B, FIS-B	
	Cockpit	PDC, TWIP, D-ATS, Weather	
AOC	운용	Weight & Balance, Flight Following, OPS Dispatch, Sky Source, Weather, DDTC, OOOI, FOQA	
	정비유지	MOQA, Diagnostics, Live Maintenance, Aircraft Performance	
AAC		Gate Assignments	
APC		Voice, Internet, FAX, E-mail	

유럽의 경우, <그림 3-1-2-4>와 같이 중장기적인 연구계획을 수립하여 데이터링크 및 응용분야 기술을 개발 하고 있다. LINK 2000+ 프로그램을 통해 VDL M2 데이터링크와 Mode-S 데이터링크를 구축하고 항로관제 CPDLC를 적용하여 초기 운용성을 확인하는 것이다. 그리고, CASCADE프로그램을 통해 초기 ADS-B서비스를 시행하고 CPDLC 및 D-FIS서비스를 확장하고자 한다.



<그림 3-1-2-4> 유럽의 통신분야 기술개발 로드맵

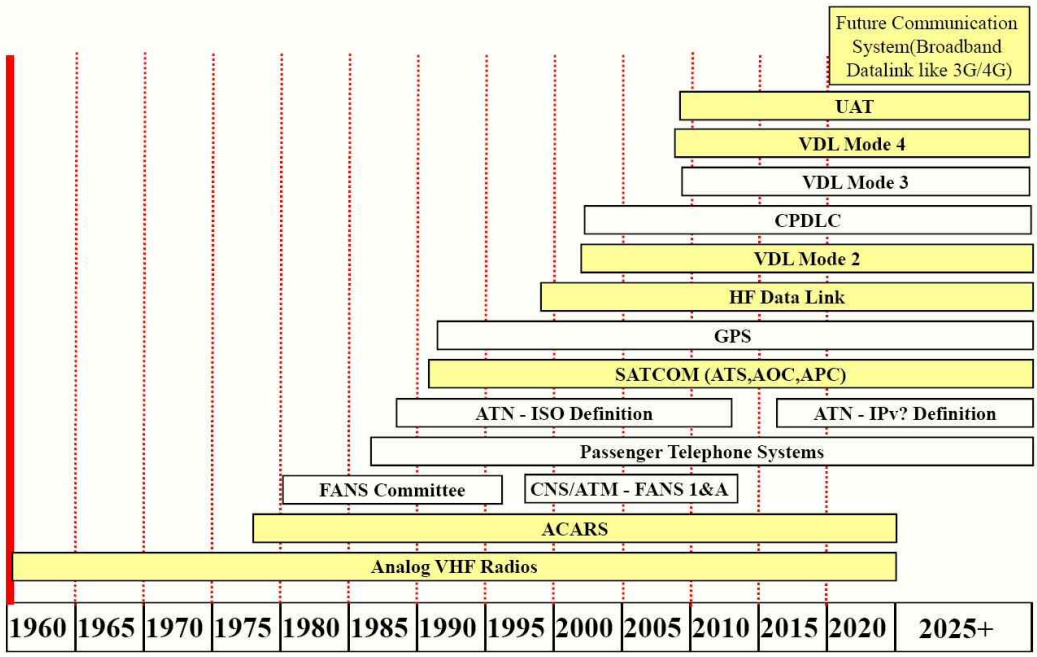
3. 단기 전망

유럽의 경우, 지난 25년간 3개의 항공교통이 증가했으며 2020년까지의 현재의 2배로 증가할 것으로 예측된다. 이러한 항공교통량의 증가로 데이터 통신을 확장할 수 있는 추가적인 통신 성능의 향상이 요구되고 있다. 그리고, 2015년까지는 현재의 음성과 데이터 통신이 혼용될 것으로 판단되며, 이후부터는 데이터 통신이 음성을 점진적으로 대체해 나갈 것이다. 2015년 정도에는 ATS용도로 활용되는 음성통신이 공항에서는 약 60%정도, 항로에서는 40% 및 대양 및 극지에서는 5% 정도가 활용될 것으로 예측되며 이후부터 계속적으로 음성통신은 축소되고 데이터 통신이 증가하는 경향을 보일 것이다.

ICAO에서는 VHF아날로그 음성통신의 운용기간을 연장을 위해 8.33KHz채널 대역폭 할당을 하였으나 증가하는 교통량을 다 수용하기 어려워 960~1024MHz대역의 주파수를 항공서비스로 할당을 제안하고 있다.

계속적인 항공교통 증대와 다양한 응용분야에 따른 데이터의 급속한 증대로 대용량의 데이터링크 요구될 것으로 예측된다. 따라서, 항공선진국에서는 항공기에 대양한 응용을 위한 고속데이터 전송률의 링크 즉, 광대역(Broadband) 데이터링크

를 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다. 여기서의 광대역은 200kbps이상의 전송속도를 말하며, 이는 ATC응용보다 승객의 편의 제공을 위한 서비스 응용을 위해서이다. 어떤 서비스 제공사업자는 항공기로 전송하는 Uplink는 20Mbps, 항공기로부터 지상으로 전송되는 Downlink는 1Mbps를 선전하기도 한다.



<그림 3-1-2-5> 항공통신의 현황 및 발전전망

가. 음성통신의 추세

ICAO EUR지역에서 FL245 (24,500feet)이상에는 8.33KHz채널 간격을 사용하고 있지만 널어나는 수요를 충족하기 어려워 2015년에 새로운 통신시스템이 도입될 기간동안 임시적인 수요 충족을 위해 Eurocontrol에서는 FL195이상의 모든 항공기에 8.33KHz채널간격 할당을 추진 중에 있다. FAA의 경우에는 VDL M3를 2007년까지 미국내에 구축을 추진하였으나 현재에는 이러한 계획이 무산되었으며 현재에는 VDL M3가 중장기 차원에서의 데이터링크 대안으로 간주하고 있다.

나. 데이터 링크

Eurocontrol의 지원을 받고 있는 유럽위원회(EC: European Commission)는 2010까지 CPDLC, ATN 및 VDL M2를 유럽영공을 이용하는 모든 항공에 의무화

를 고려하고 있다. 그리고, ATN기반 VDL M2에 FANS CPDLC기능 적용이 조만간 구현될 것으로 기대되며, 미국의 경우에도 VDL M2적용을 추진하고 있다.

1090MHz Mode S ES(Extended Squitter), UAT 및 VDL M4가 단기에 적용될 데이터링크 사료되며 특히, Mode S ES는 기술적인 성수도가 높고 표준화 기술로 유럽 및 미국에서 주 물리계층으로 사용될 것으로 보인다. 2003년도에 Montreal에서 개최된 제 11차 Air Navigation Conference Eurocontorl, FAA 및 IATA는 1090 ES가 초기적용을 위한 요구조건을 만족하는데 동의했고 현재, 항공기에 적용되고 있으며 보잉, 에어버스 및 Canso가 1090ES를 구축을 지원하고 있다. 그러나, Mode S ES는 중단기적 활용에 적합한 중간단계 기술로 2010년이후 항공교통이 많아지면 증가된 간섭수준에 의한 성능부족으로 인해 활용에 문제가 발생할 것으로 예측하고 있다. 따라서, 2010년 정도에는 ADS-B링크 대안이 필요하게 되며, 이때, 1090ES를 보완하는 새로운 링크를 사용할 것인지 아니면 장기적인 ADS-B 요구조건을 만족하는 단일 고성능 링크를 사용할 것인지 이슈가 될 것이다. 현재 대안 링크로 Eurocontrol은 VDL M4를 후보기술로 제안하고 있고, 미국은 1090ES 대안으로 UAT를 채용할고 있다.

다. 데이터 서비스

유럽지역에 대한 단기계획으로써의 ATC와 AOC에 대한 이동데이터링크 서비스와 지원 인프라는 Link 2000+ 프로그램에 정의되어 있다. Link 200+프로그램은 ATC서비스용으로 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communication)을 지원하는 것을 주요 목표로하고 있다. 따라서, ARINC와 SITA는 VDL M2 네트워크와 CPDLC 서비스를 구축했으며 많은 유럽의 항공사들이 Rockwell Collins, Honeywell 및 Airbus로부터 VDL M2 데이터링크 항공전자장비를 공급받아 Link 2000+프로그램에 참가하겠다고 선언했다. Mode S EHS(Enhanced Surveillace)프로그램, 즉 CASCADE프로그램은 항공교통관제 차원에서 생산성 향상과 서비스와 차세대 데이터링크 응용을 다루고 있으며, CASCADE프로그램의 목적은 아래에 ADS-B 응용의 적용과 CPDLC 기능 향상 및 항공기 데이터를 지상으로 제공하기 위해 현존하는 데이터링크를 활용한 다른 데이터링크 서비스 개척을 목표로 하고 있다. 따라서, CASCADE프로그램에서는 VDL M2/ATN 및 Mode S를 최대한 활

용할 것이다.

4. 중장기 전망

항공교통관리를 위한 항공 기지간 VHF채널이 포화됨에 따라, 특히, 유럽과 미국의 일부에서는 매우 심각한 수준으로, ICAO는 ACP(Aeronautical Communication Panel)를 통해 공통의 전 세계적인 해결책을 찾고 있다. Eurocontrol과 FAA는 비행 통신요구조건의 안전과 규정을 만족하는, 즉 ATS와 AOC를 지원하는 잠재적인 통신기술을 발굴하기 위한 공동활동을 수행하기로 했다.

2030년대에는 공항/TMA 환경에서 ATS통신의 85%가 데이터링크를 통해 제공되고 항로의 경우에는 95%, 대양/극지경의 경우 99%가 데이터링크 통해 제공된다.

가. FAA와 Eurocontrol 협동 FCS(Future Communication Study)

FCS는 미래항공통신의 전세계적인 조화로운 계획을 필요성을 충족시키기 위해 미래 ATM개념을 지원할 수 있는 통신요구조건을 만족하는 가장 적합한 기술을 추천하고자 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 제안이 있었지만 아직 전세계적인 동의를 얻지 못했다. ICAO ACP WG-C(Working Group C)에서 선별된 기술후보는 아래와 같다.

- Cellular Telephony Derivatives: TDMA (IS-136), CDMA (IS-95A), CDMAone (IS-95B), CDMA2000 1xRTT, W-CDMA, TD-CDMA, CDMA2000 3x, CDMA2000 1xEV, GSM/GPRS/EDGE, TD-SCDMA, DECT
- IEEE 802 Wireless Derivatives: IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, IEEE 802.20, ETSI HIPERPAN, ETSI HIPERLAN, ETSI HIPERMAN
- Public Safety and Specialized Mobile Radio: APCO P25 Phase 1, APCO P25 Phase 2, TETRA Release 1, TETRAPOL, IDRA, IDEN, EDACS, APCO P34, TETRA Release 2 (TAPS), TETRA Release 2 (TEDS), Project MESA

- Satellite and Other Over Horizon Communication: SDLS, Connexion by Boeing, Swift Broadband (Aero B-GAN), Iridium, GlobalStar, Thuraya, Integrated Global Surveillance and Guidance System (IGSAGS), HF Data Link
- Custom Narrowband VHF Solutions: VDL Mode 2, VDL Mode 3, VDL Mode 3 w/SAIC, VDL Mode E, VDL Mode 4, E-TDMA
- Custom Broadband: ADL, Flash-OFDM, UAT, Mode-S, B-VHF (MC-CDMA)
- Military: Link 16, SINCGARS, EPLRS, HAVEQUICK, JTRS
- Other: APC Phone (Airphone, AirCell, SkyWay)

통신성능의 다른 기술 기준, 항공환경에 대한 성숙도, 비용 등이 적용되고 미래 인프라에 대한 스펙트럼 선택과 일치성을 고려하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

- VHF대역을 효율적으로 활용하는 기술
- DME 또는 MLS스펙트럼을 사용하는 기술
- AMSS(위성)을 사용하는 기술(일반적인 후보는 Aero-BGAN, NASA/ITT제안한 Iridium)

Eurocontrol/QinetiQ에서는 1차 기술선별의 결과로 평가대상후보로 아래와 같이 제안했다.

- B-VHF in DME
- VDL-3 in another band
- P34 in DME;
- ADL in MLS
- Aero-BGAN

추가적인 고려사항은 아래와 같다.

- Provision of Party-Line on 3G
- Aeronautical VoIP services
- Performance of 3G & WLAN at aeronautical velocities

NASA/ITT에 의한 항로, 터미널 및 지상공역 차원에서 통신으로 적용할 수 있는 사전기술 선별결과는 다음과 같다.

○ 1차 우선순위

- VDL3/VDLE in VHF;
- B-VHF in DME
- P34 in DME;
- VDL3 in DME (XDL3);

○ 2차 우선순위:

- WCDMA in DME

특수 공역 차원에서 적용할 수 있는 기술은 아래와 같다.

- Oceanic: Aero-BGAN; Iridium in AMS(R)S
- Surface: IEEE 802.16 in MLS

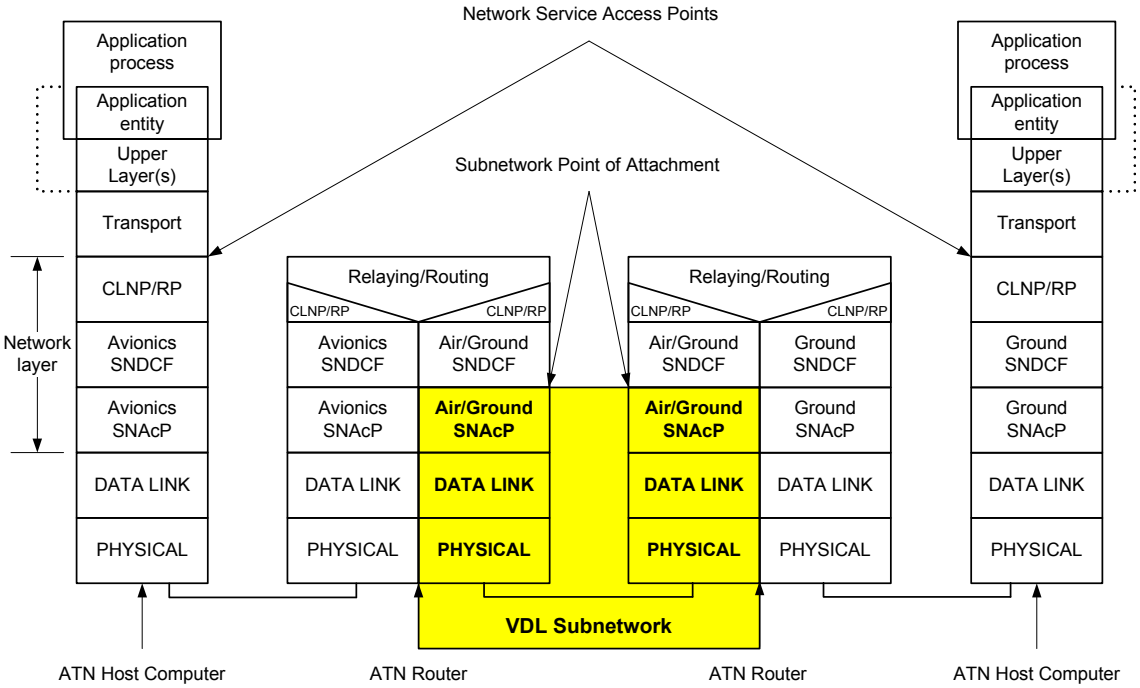
MLS 대역에서는 Omni-Omni 안테나 경로손실이 너무 과도한 관계로 이 대역의 기술은 공항의 지면이나 터미널 인접지역만을 위한 것으로 추천되었다.

제 2 절 VDL M2 시스템 구현

1. 기술 현황

VHF Digital Link (이하 VDL) 통신 시스템은 항공기와 지상국을 연결하는 항공종합통신망(ATN) 서브네트워크의 일종으로 항공기와 지상국 기반 응용프로그램 프로세스 간 데이터 통신을 지원하는데 사용된다. 데이터 통신 기능은 VHF 데이터 송수신기에 내장된 디지털 통신 프로토콜과 관련 항공전자장비의 지원에 의해 제공된다.

국제 항공관련 기구들은 VDL 관련 표준을 만들면서 국제표준화기구(ISO)가 개발한 OSI 참조 모델(OSI reference model)에 준거하여 통신 기능들을 분리하기로 하여 VDL 시스템은 OSI 참조 모델을 기반으로 개발되었다. OSI 참조 모델은 기능(function)에 따라 7개의 계층으로 분리된 계층 구조(layered architecture)로 구성되며 개방형(open) 통신 프로토콜의 개발을 가능하게 한다. 이에 따라 VDL M2도 데이터 통신을 위해 OSI 모델과 완벽히 대응되는 프로토콜 스택 구조를 갖도록 구성되었다. 이는 다른 VDL 시스템(VDL M3, VDL M4)에도 마찬가지로 적용되며 따라서 VDL 시스템은 ATN 호환 시스템들 사이에서는 코드 투명형 통신(code transparent communication)을 제공하게 될 것이다. 특히 OSI 모델의 하위 세개 계층에 해당하는 물리 계층(physical layer), 데이터 링크계층(data link layer), 네트워크 계층(network layer)의 최하위 부계층인 서브네트워크 계층(subnetwork layer)에 의해 주요 통신 기능이 제공된다. 아래 <그림 3-2-1-1>는 ATN 프로토콜 구조 안에서 VDL 시스템을 나타내고 있다[2].



<그림 3-2-1-1> ATN 프로토콜 구조에서의 VDL 서브네트워크

데이터링크 계층에 사용된 Aviation VHF Link Control (AVLC)은 ISO 표준인 HDLC(High-level Data Link Control) 규격을 대부분 준용하였다. 하지만, HDLC가 일반적으로 대역폭(bandwidth)이 거의 부족하지 않은 정적인 네트워크 터미널을 지원하기 위해 설계되었기 때문에, VDL 네트워크 터미널은 제한된 대역폭을 사용하는 이동 환경에 있다는 점을 고려하여 최적화 되도록 HDLC프로토콜을 일부 변형하여 AVLC 프로토콜로 표준화 하였다[2].

VHF 공대지 서브네트워크상에서 사용되는 VDL 서브네트워크 계층 프로토콜은 ISO 8208을 따라 설계되었다.

VDL M2 시스템은 항공교통업무통신(ATSC), 비행정보서비스(FIS), 항공사운항통신(AOC) 분야에서 모두 사용가능 하다.

가. 지상 인프라 시나리오

원칙적으로 VDL 표준안(SARPs)에서는 ICAO 가맹국과 여러 통신 기구의 요구사항을 반영하여 특정한 VDL 지상 인프라를 선택하는 것에 제한을 두지 않고 있다. 아래에서 설명하는 시나리오들은 특정 국가의 자국 환경과 정책 결정 사항에 따라 선택될 수 있다[2].

○ 민간항공국(Civil Aviation Administration)에 의해 운영되는 VDL과 ATN 네트워크

- 오직 CAA에 의해 운영되는 VDL 지상국(ground station)만 있음.
- CAA가 관리하는 Router로 연결됨
- 최소 서비스로 항공교통업무통신(ATSC) 기능 제공
- 상업용 서비스 제공업체(Commercial Service Provider)에 의해 운영되는 VDL과 ATN 네트워크
- 지상국(ground station)이 민간 상업용 서비스 제공업체에 의해 운영됨
- 항공운항통신(AOC) 지원
- CAA의 요구가 있는 경우, 항공교통업무통신(ATSC)도 지원
- 서비스 제공업체의 라우터에 연결(라우터는 다른 국가에 위치할 수도 있음)

○ 상업용 서비스 제공업체와 CAA에 의해 운영되는 VDL과 ATN 네트워크

- 지상국은 AOC와 ATSC 서비스를 모두 제공
- 지상국은 AOC 용 라우터(타국에 있을 수 있음)와 CAA 용 라우터(자국내에 위치)에 동시에 연결됨

○ 상업용 서비스 제공업체와 CAA에 의해 운영되는 VDL과 ATN 네트워크

- ATSC를 위한 CAA의 지상국과 AOC를 위한 서비스 제공업체의 지상국이 똑같은 운용지정 지역 내에서 함께 운용

현존 시스템인 ACARS와 비교한 VDL M2 시스템의 주요 특징은 다음 <표 3-2-1-1>과 같다.

<표 3-2-1-1> ACAR와 VDL M2 특성 비교

특성	ACARS	VDL M2	비 고
사용 주파수(㎒)	131.55	118~137	
채널간격(㎑)	25	25	
변조방식	DSB-AM	D8PSK	
다중접속방식	CSMA	CSMA	
데이터전송률 (kbps)	2.4	31.5	
디지털음성 전송률(kbps)	N/A	N/A	CSMA로 인한 전송불가
운용가능범위 (NM)	200	200	
서비스	Data	Data	
통신 서브넷	Air to Ground	Air to Ground	
응용 분야	AOC/ATC	AOC/ATC	

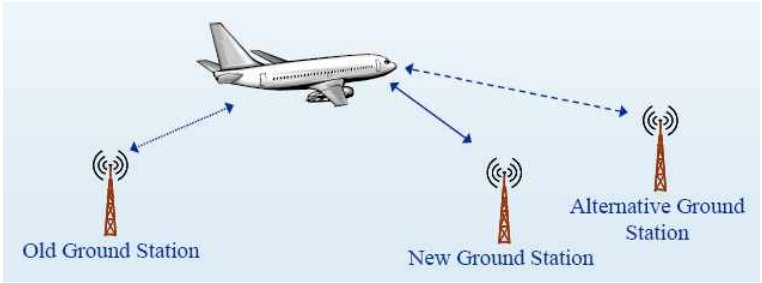
나. 운용 개념

VDL M2는 “비트지향(Bit-Oriented)의 공대지 데이터링크 기술”이며 Differential 8 Phase Shift Keying (D8PSK) 변조 방식으로 31.5 kbps의 전송률로 데이터를 전송한다. 이는 DSB-AM를 근간으로 AM-MSK 변조방식을 사용하는 현존 2.4 kbps의 VHF ACARS (Aircraft Communication and Reporting System)-일반적으로 이를 VDL Mode A라고 일컫는다 -보다 13배 빠른 전송률이다. 또한 200 nm 통달거리를 제공하는 25 kHz 채널이 지원할 수 있는 최대 비트 전송률이기도 하다. 예를 들어 ACARS 링크 상에서 0.83초가 소요되는 250 문자 블록을 VDL M2 링크에서는 0.06초 만에 전송할 수 있다.

VDL M2의 항공국과 지상국은 사용자 정보(user data)를 “프레임” 단위로 교환하여 확인응답이 요구되기 전에 4개의 프레임을 전송할 수 있다. 반면에 ACARS의 경우는 매 전송마다 Message 수신 확인을 위해 stop and wait를 두어야 한다. 따라서 VDL M2는 wind database, flight plan 등의 멀티 블록 메시지를 훨씬 더 빠르게 전송할 수 있다.

먼저 항공기는 VDL M2를 위해 할당된 공통 채널(CSC, Common Signaling Channel)인 136.975㎒로 방송되는 해당 지상국에서 제공되는 서비스제공자와 서비스들을 식별할 수 있는 GSIF(Ground Station Identification Frames, 지상국 시별

프레임들)을 수신한다. 한개 이상의 지상국으로부터 GSIF 수신한 후에 항공기는 서비스제공자의 우수성, 제공되는 서비스 및 수신신호세기 등을 종합하여 어떤 지상국에 접속할 것인지를 결정하고 선택된 지상국과 논리적인 연결을 시도한다. 항공기가 공역(Airspace)을 비행해 가면서 계속적으로 수신가능한 지상국들을 트래킹한다. 만일 현재 연결된 지상국의 신호 품질이 저하되면 <그림 3-2-1-2>와 같이 항공기는 목록에서 가장 좋은 후보 지상국을 선택하여 해당 지상국과 논리적인 연결을 시도한다. 이와 같은 방법으로 항공기는 공역을 비행하면서 끊김 없는 (Seamless Transition) 기지간 논리적 연결을 유지할 수 있다.



<그림 3-2-1-2> 핸드오프 개념

다른 지상국 또는 항공기국와의 전송 충돌을 피하기 위해 수신기가 VHF 채널이 비었다는 것을 감지했을 경우에만 프레임들을 전송한다. 이러한 방식을 Carrier Sense Multiple Access (CSMA)이라 하며 이는 항공기국과의 동시 전송 확률을 낮추는 조처를 취한다. VDL M2의 CSMA는 ACARS 방식보다 우수하여 더 신속하게 채널 비 점유 상태를 감지한다. 이는 큰 부하 상태에서도 메시지 지연 감소, 높은 전송 성공률을 결과로 이어진다. CSMA의 큰 장점 중 하나는 각각의 지상국과 항공국이 독립적이므로 어떤 중앙 공급으로부터 동기화 및 타이밍 신호가 필요 없기 때문에 오버헤드가 적다는 점이다.

VDL M2가 사용하는 “Aviation VHF Link Control (AVLC)”는 지상국과 논리적 링크를 설립하는 프로토콜이다. VDL M2는 항공종합통신망(ATN)과 ACARS over AVLC (AOA)를 모두 지원하기 때문에 지상국은 고정된 네트워크를 통해 ATN 라우터 및 ACARS 프로세서들과 연결된다.

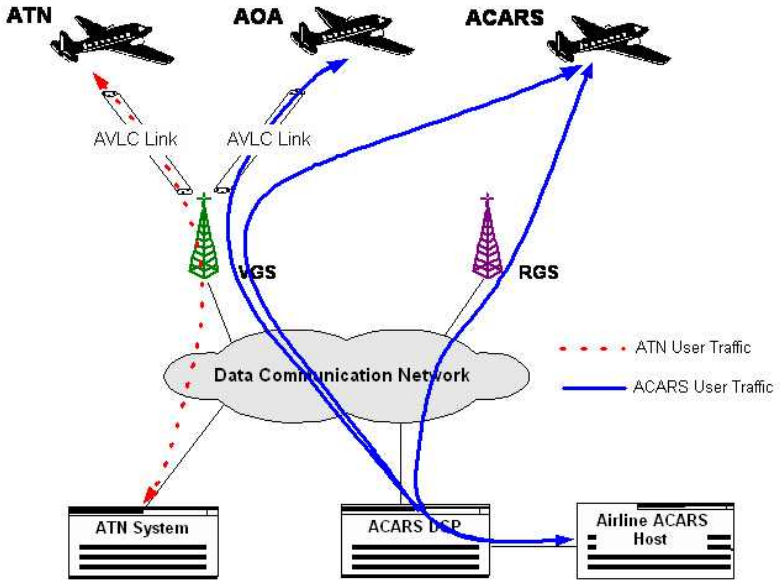
항공기는 Mode S 레이더, HF 데이터링크, 항공위성통신시스템에서 사용하는 것과 동일한 ICAO 24-비트 주소를 사용하는 AVLC 프로토콜에서 자신을 식별한

다. 다른 시스템과 동일한 주소지정체계를 사용함으로써 통신 관리를 단순화할 수 있다.

Subnetwork Dependent Convergence Function (SNDCF)는 응용프로그램이나 VDL M2 서브네트워크의 변경 없이 다른 종류의 transport 프로토콜로 전환하는데 유연성을 제공한다.

VDL M2는 비트지향(Bit-Oriented)시스템으로 ACARS 보다 메시지를 효율적으로 전송한다. VDL M2가 코드화된 데이터를 전송하는데 반해 ACARS 전송은 문자와 숫자로 제한되어 있다. 예를 들어 “CLIMB TO AND MAINTAIN FL330”과 같은 간단한 clearance 명령의 경우, ACARS 시스템에서는 최소 224 비트를 사용하는데 반해 VDL은 10 비트만을 사용한다. 비트지향 통신은 조종사에게 단순 텍스트 정보뿐 아니라 그래픽 정보를 지원하게 할 것이다.

초기 VDL M2의 응용분야는 내륙지역에서의 조종사-관제사간 데이터링크 통신 서비스(Controller-Pilot Data Link Communication)에 활용될 전망이다. 또한 ICAO VDL M2 표준에서는 지상국이 broadcast address를 사용하여 다수의 항공기에 메시지를 전송할 수 있도록 지원하다. 이로 인해 VDL M2를 이용한 FIS-B, 기상정보 방송 서비스, NOTAMS 전송과 같은 방송 응용프로그램(Broadcast Application)도 가능하게 된다.



<그림 3-2-1-3> 공대지 데이터링크 서비스

다. 시스템 구성

VDL M2 시스템은 ATN의 Subnetwork로써 설계되었고 OSI(Open Systems Interconnection) 계층 모델에 따라 동작하도록 구성된다. 이는 항공라우터와 자상 ATN 라우터 사이에서의 일대일 데이터 통신은 VDL M2 시스템이 ISO 8208 Network Interface를 이용하여 제공하게 된다. 추가적으로 ISO 8208 통신에서 일대다 데이터 통신은 지상국에서 항공국으로 단방향 방송의 형태로 제공된다. OSI 모델 계층에 따라 ATN의 서브네트워크를 구축하게 되는 VDL M2 시스템은 OSI 7 계층 중 하위 3개 계층에 해당한다.

VDL M2의 물리계층은 송수신기의 주파수 제어, RF를 통한 bit exchange 등의 기능을 수행하며 RTCA DO-224A에 정의된 바와 같이 D8PSK(Differentially encoded eight Phase Shit Keying) 변조를 하며 31.5 kb/s의 Bit Rate를 제공한다.

VDL M2의 데이터 링크계층은 MAC Sublayer, DLS Sublayer 그리고 LME로 구성된다. MAC(Media Access Control) Sublayer는 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 알고리즘을 이용하여 물리계층에 대한 Access를 제공한다. DLS(Data Link Service) Sublayer는 HDLC 프로토콜에서 파생된 AVLC 프로토콜로 구성되어있고 AVLC의 주된 기능은 프레임교환, 프레임 프로세싱 그리고 에러검출이다.

LME(Link Management Entity)는 DLS들 사이에서 링크의 성립을 관리한다.

VDL Mode2의 네트워크 계층은 OSI 7계층의 네트워크 계층의 최하위 sub-layer에 해당하는 SNAcP의 기능을 가진다. SNAcP(Subnetwork Access Protocol)는 ISO8208에 적합한 Subnetwork Sublayer 요구조건에 부합되어야 한다.

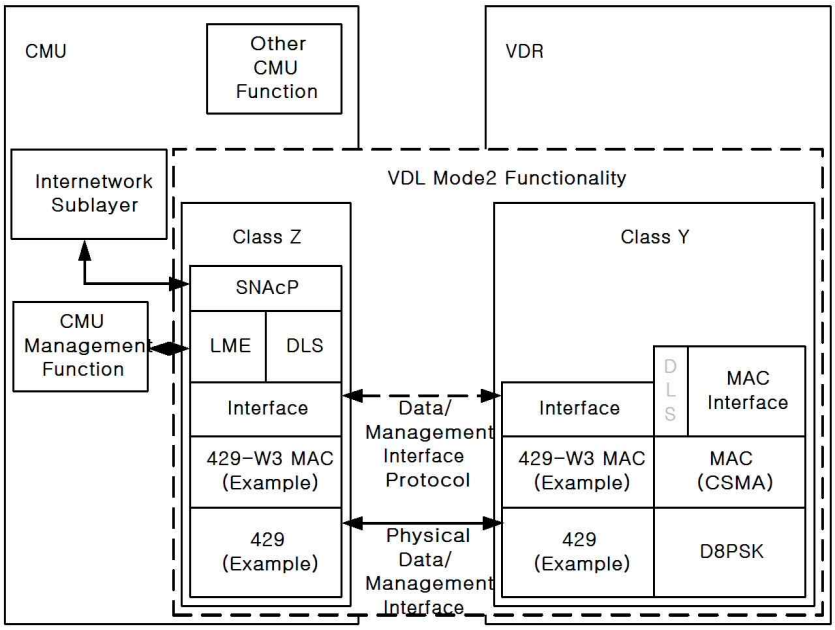
위와 같은 계층구조를 가지는 VDL M2장비는 일반적으로 일체형과 분리형의 두 가지 형태로 구현될 수 있다. 일체형은 모든 계층 구조를 하나의 장비 안에서 구현하는 방식이며 분리형은 계층구조 중 SNAcP, DLS 그리고 LME기능을 하나의 장비로 MAC과 D8PSK 기능을 다른 하나의 장비로 분리하여 구현하는 방식이다. 본 과제에서는 분리형의 구조를 이용하여 시스템을 구성하고자 한다.

본 과제에 적용할 분리형 장치는 VHF Data Radio에 해당하는 VHF 데이터 송수신장치(VDR)과 통신을 관리하는 통신제어장치(CMU)로 분리된 형태이다. VHF 데이터 송수신장치는 Class Y라 칭하고 통신제어장치는 Class Z라 칭하며 통신제어장치가 ISO8208과 호환되지 않는 SNAcP (Subnetwork Access Control Protocol)을 가질 때에는 Class W라 칭한다[3].

분리형 장비는 <그림 3-2-1-4>와 같이 VDL M2 Specific protocol을 둘로 나눈 것이기 때문에 VDL M2 기본기능 외에 통신제어장치와 VHF 데이터 송수신장치 상호간의 통신을 위한 Data/Management Interface와 그에 따른 프로토콜이 필요하다. 이 때 적용되는 인터페이스의 예로 ARINC 429 등이 있다.

통신 제어장치에서는 VDL Mode 2 시스템 기능 중 링크계층과 네트워크 계층의 기능에 해당하는 SNAcP(ISO8208), LME, DLS의 기능이 있다. 또한 ARINC 429 MAC 과 Physical 인터페이스가 존재하여 이를 통하여 Data/Management 인터페이스가 이루어지며 CMU Management Function은 이를 통해 VHF 데이터 송수신장치에 대한 제어 및 데이터 전송을 수행한다.

VHF 데이터 송수신장치는 VDL M2 시스템 기능 중 링크계층과 물리계층의 기능에 해당하는 MAC(CSMA), D8PSK의 기능이 있다. 또한 ARINC 429 MAC과 Physical 인터페이스가 존재하여 이를 통해 통신제어장치가 VHF 데이터 송수신장치에 대한 제어를 수행할 수 있도록 한다.



<그림 3-2-1-4> 통신제어장치와 VHF 데이터송수신장치 구성 및 인터페이스

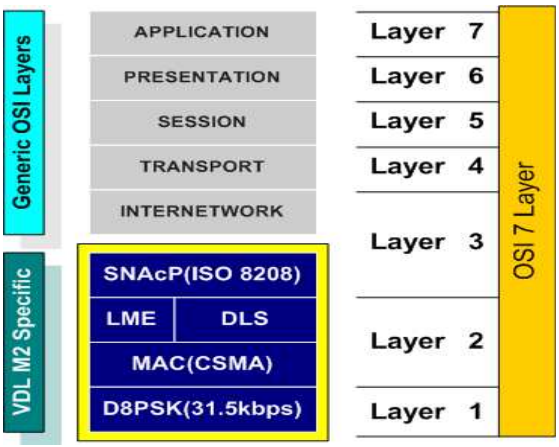
2. 시스템 설계

VDL M2는 ATN망 차원에서 항공기와 지상 간의 이동통신 서브네트워크로써의 역할을 수행한다. ATN망은 국제표준화기구(ISO)에 의해 정의된 OSI 참조모델을 기반으로 7개의 계층 구조로 이루어지며 ATN 호환 시스템들 사이에서는 코드투명형 통신(Code Transparent Communication)을 제공한다. VDL M2 데이터링크는 ATN망의 7개의 계층적 구조에서 <그림 3-2-2-1>와 같이 물리계층, 데이터링크 계층 및 서브네트워크계층까지를 포함하며 상위계층을 포함하는 A/G라우터와 연결된다. 그러나 아직 ATN 라우터가 개발되지 않아 현재에는 <그림 3-2-2-2>에서와 같이 1970년대 말에 개발된 ACARS망을 기반으로 VDL M2에 적용하는 AOA(ACARS over AVLC)프로토콜을 사용하고 있다. 본 과제에서도 AOA망을 기반으로 하는 시스템으로 설계하였으며 설계된 계층적 구조는 <그림 3-2-2-2>과 같다.

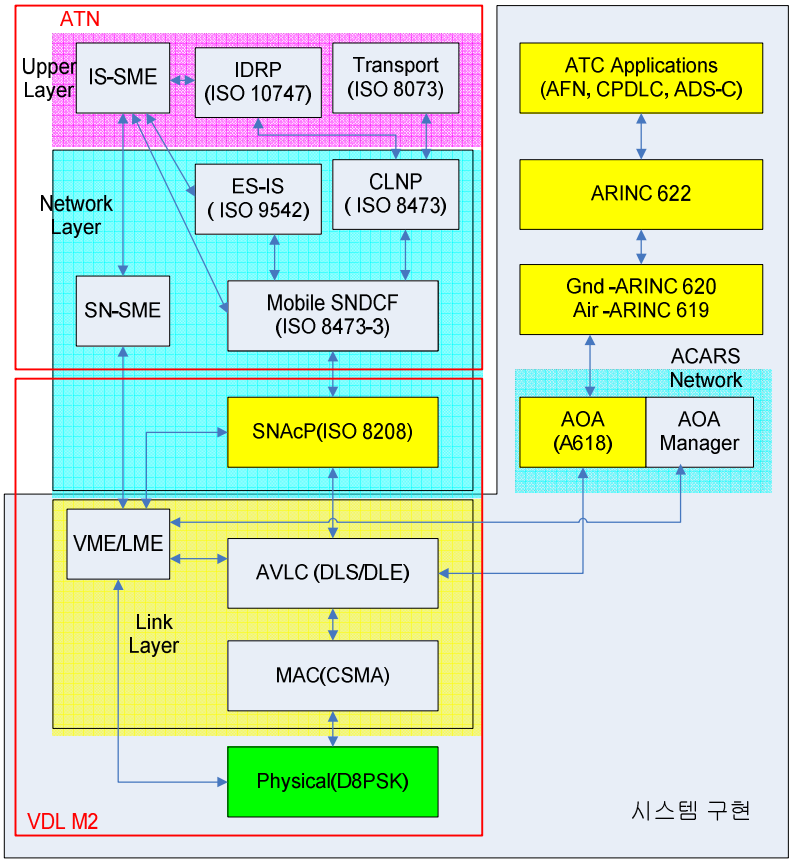
VDL M2데이터 링크는 탑재장비와 지상장비로 구성되며 탑재장비는 <그림 3-2-2-3>과 같이 D8PSK 변복조방식의 물리계층과 매체접근제어(MAC)기능을 수행하는 송수신장치(VDR : VHF Data Radio)와 링크관리개체(LME : Link Management Entity), DLS(Data Link Service)서브계층 및 서브네트워크계층의 기능을 수행하는 통신관리장치(CMU : Communication Management Unit)로 분할하는 구조를 설계하였으며 지상장비는 <그림 3-2-2-4>과 같이 물리계층, MAC, DLS/DLE로 구성되는 지상스테이션과 VME 및 AOA망으로 구성되는 데이터링크 서비스처리기(DSP)로 설계하였다. 탑재시스템은 지상스테이션과 핸드오프를 제외하고는 한 개의 링크를 형성하지만 지상스테이션은 여러 개의 탑재시스템과 링크를 형성한다. 링크 설립, 핸드오프, 단절 등은 VME/LME에서 담당하게 된다.

항공기의 단말시스템(End System)과 지상의 단말시스템 간의 연결절차는 <그림 3-2-2-5>와 같이 지상국이 지상장비의 정보를 실은 "GSIF"신호를 주기적으로 방송하면 항공국이 GSIF의 정보를 이용하여 가장 좋은 지상국과 링크설립요청 명령인 "XID_CMD_LE"프레임을 발송하면서 링크설립을 시도한다. 지상국에서 링크설립허용 응답인 “XID_RSP_LE"를 발송하여 링크설립을 허용하므로 VDL M2데이터링크의 링크가 설립된다. 링크가 설립된 후에는 항공국은 AOA망에 연결을 시도하고 지상국에서 AOA망에 연결을 허락하면 망에 연결이 된다. AOA망에 연

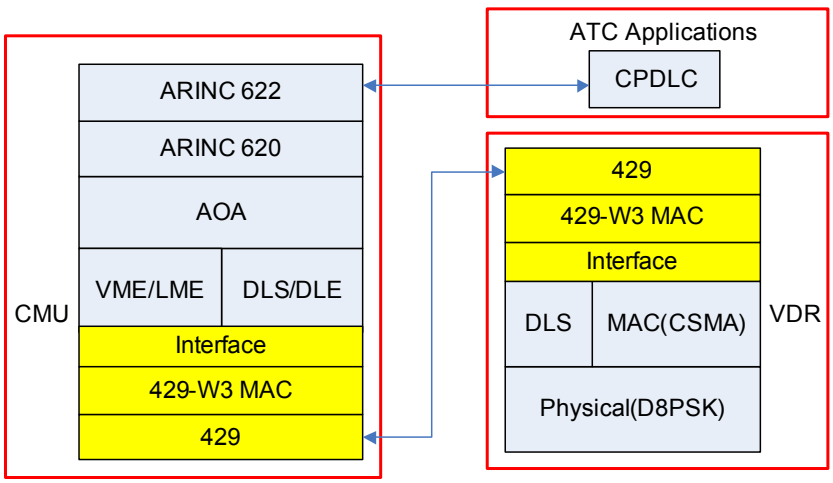
결되면 항공 단망장치(Aircraft End System)이나 지상단말장치(Ground End System)은 상대 시스템에서 제공되는 응용서비스(Application Services)에 Log ON 하거나 방송되는 서비스를 제공받을 수 있다. 본 과제에서는 FANS시스템에서 ATS로 제공되는 응용서비스를 설계하였으므로 이를 기준으로 본다면 항공기가 지상 ATC센터로 AFN(Air Traffic Services Facilities Notification)정보를 보내면 지상 End System으로써의 ATC센터는 항공기에 ATC서비스 연결을 요청하므로 서비스 Log ON을 하게 된다.



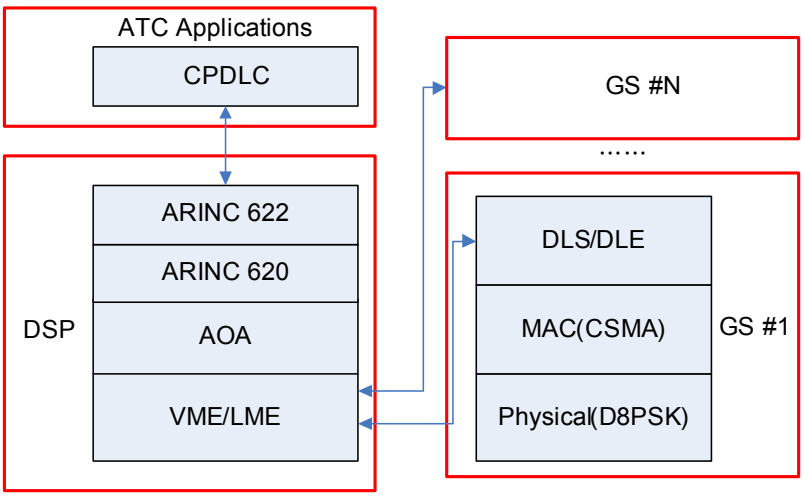
<그림 3-2-2-1> OSI 모델과 비교한 VDL M2 프로토콜의 계층 구조



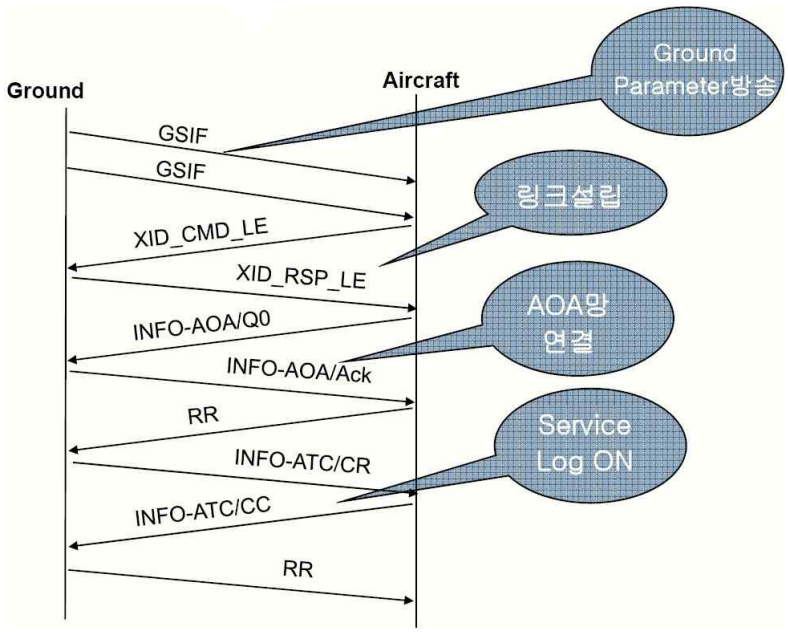
<그림 3-2-2-2> VDL M2의 스택 구성과 인터페이스



<그림 3-2-2-3> VDL M2 탑재장비 설계



<그림 3-2-2-4> VDL M2 지상시스템 설계



<그림 3-2-2-5> 일반적인 End-to-End 시스템간의 연결절차

가. 시스템 개발규격 설정

본 과제에서 개발되는 VDL M2데이터링크 시스템은 국제민항기구(ICAO)의 항공통신위원회(ACP : Aeronautical Communication Panel)에서 기술표준서인 SARPs(Standards and Recommended Practices)를 제정하였으며, 이를 근거로 RTCA, ARINC 및 ETSI에서 관련된 장비의 규격서를 제정하였다. 본 과제에서도

ICAO의 SARPs와 기술 문서외 아래 <표 3-2-2-1, 3-2-2-2, 3-2-2-3>과 같은 적용 가능한 규격서, 표준서 및 기술자료를 참고로 VDL M2 데이터링크에 대한 개발 규격을 설정하였다. 이렇게 설정된 개발규격에서 중요항목에 대해 정리하면 <표 3-2-2-4>와 같다.

<표 3-2-2-1> VDL M2 데이터링크 통신장비 설계 및 구현 참고규격

규격번호	규격명	참고범위	적용분야
ICAO SARPs Annex10	Aeronautical Telecommunications	pp 279~282R Chap. 6	VDL M2 장비 시스템 설계
ICAO Doc 9776	Manual on VDL M2	문서전체	계층별 기본설계
RTCA/DO-224B	MAPS for VDL Mode 2 & 3	pp 39~135	구성품 개발목표 설정
RTCA/DO-281	MOPS for VDL Mode 2	pp 11~148	구성품 시험평가
ARINC 631	VDL Implementation Provisions	pp 4~95	VDL M2와 상위계층간의 상호 기능적인 연동설계
ARINC 758	CMU Mark II	pp 13~93	CMU구현 및 외부 인터페이스 설계
ARINC 750	VHF Data Radio	pp 8~42	VDR구현
ARINC 429	Mark 33 Digital Information Transfer System	pp 2~181	CMU, VDR간 ARINC 429 인터페이스
ISO 8208	X.25 Packet layer Protocol	문서전체	ATN연동 SNAcP 연동개념 설계
ISO 13239	HDLC Procedures	pp 10~94	AVLC프레임 참고자료 DLS설계 참고자료
ISO/IEC 8885	HDLC XID Frame Information Field Content and Format	pp 2~15	XID프레임 프레임 포맷 설계
ETSI EN 301 841-1 and 2	Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters VDL M2	문서전체	지상국 설계 및 구현
RTCA/DO- 186A	MOPS for Airborne Radio Comm. Equipment	MOPS for Airborne Radio Communications Equipment Operating, VHF Radio 장비 규격서	참고문헌

<표 3-2-2-2> 운용시험장비 및 AOA네트워크 연동 참고규격

규격번호	규격명	참고범위	적용분야
ICAO Doc 9694	Manual of ATS Data Link Applications	PART III ADS Part IV CPDLC	운용시험장비의 CPDLC 기능 설계 및 구현
ARINC 618-6	Air/Ground Character-oriented protocol Specification	pp 7~50	ACARS 패킷 구조 및 AOA연동설계
ARINC 620-5	Data Link Ground System Standard and Interface Specification (DGSS/IS)	pp 6~226	DSP와 운용시험장비간의 인터페이스 설계
ARINC 622-4	ATS Data Link Applications over ACARS Air-Ground Network	pp 3~26	운용시험장비의 사용자 데이터 패킷 구현
ARINC 623-3	Character-Oriented ATS Applications	문서전체	운용시험장비의 문자중심 패킷 전송 연동설계

<표 3-2-2-3> 환경시험 및 전자기 간섭시험 참고규격

규격번호	규격명	참고범위	적용분야
RTCA/DO-160	Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment	Section 4.0, Section 5.0, Section 6.0, Section 8.0, Section 19.0, Section 20.0, Section 21.0	탑재장비 환경규격 및 시험, 지상장비 온도/습도시험
FAA, TSO-C169a	VHF Radio Communications Transceiver Equipment	문서전체	탑재장비 환경규격 설정
MIL-STD-810F	Environmental Engineering Considerations And Laboratory Tests	Part Two, 514-5	지상장비 진동시험

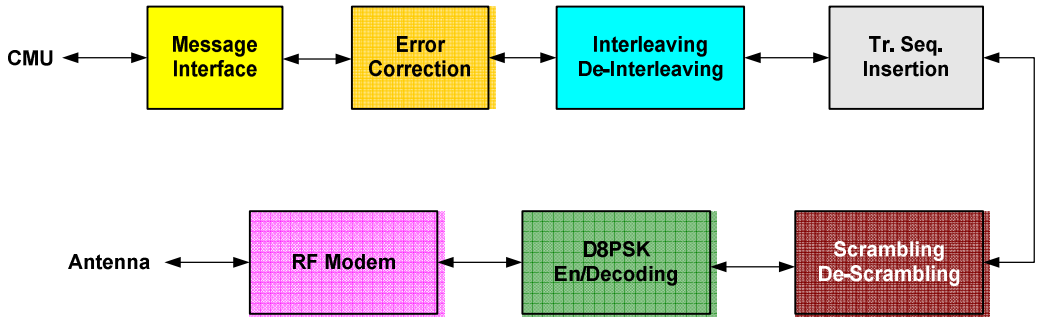
<표 3-2-2-4> VDL M2 개발규격서

항목	개발 목표			비고
	계획서	개발규격	구현	
사용주파수(MHz)	118~137	←	←	VHF송수신기
운용반경	-	200nm	←	고도 : 45Kft 지상평지
비트오율		10^{-3} (Corrected:10^{-4})	←	@200nm
채널간격(KHz)	25	←	←	
RF출력(W)	5~30	15W이상	←	
수신감도(dBm)	-98이하	←	←	@BER 10^{-3}
수신선택도[dB] (Dynamic Range)	-	90dB이상	←	
변복조방식	D8PSK	←	←	VDL M2
데이터전송률(kbps)	31.5	←	←	
다중접속방식	CSMA	CSMA (p-persistence)	←	
운용온도(℃)	-	GS : -20~55 AS : -30~55	←	ETSI, DO-160
물리계층	-	ICAO SARPs준수	←	
DL계층	-	ICAO Doc, 9776외 국제표준서 준수	←	

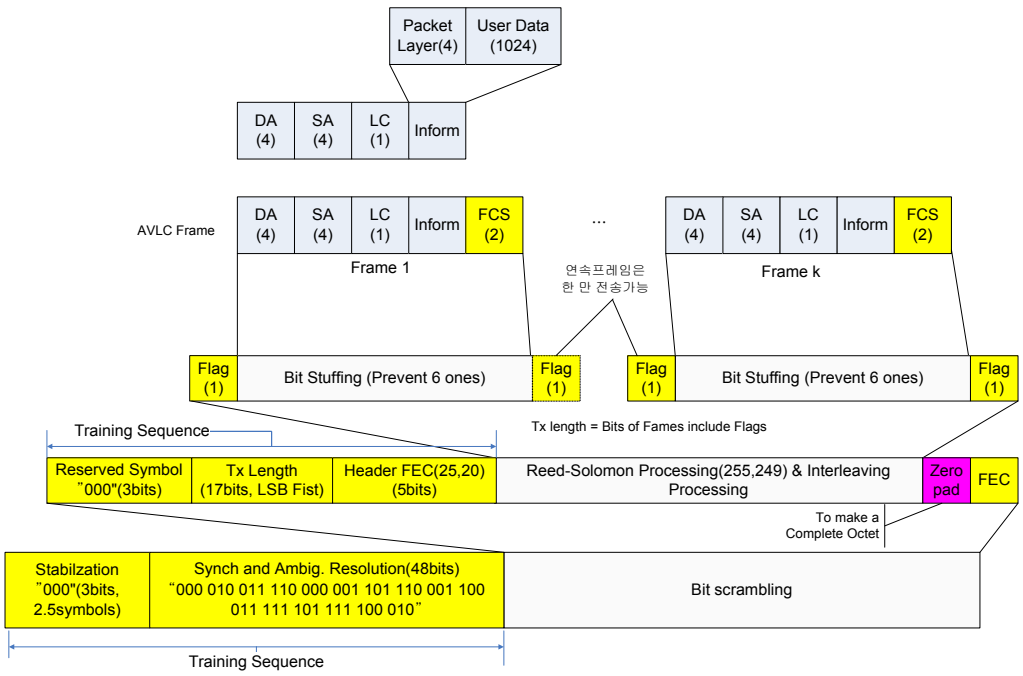
나. 물리계층

VDL M2의 물리계층은 송수신기의 주파수 제어, 비트단위 정보 교환 등의 기능을 수행하며 Raised 코사인 필터(α=0.6) D8PSK변조를 하며 31.5 kbps의 비트 전송율을 제공한다. 항공통신용 VHF대역은 118~137MHz로 채널당 25KHz의 대역폭을 갖는다. 전체적인 기능도는 <그림 3-2-2-6, 3-2-2-7>과 같으며 심볼 동기 및 모호성 해결을 위한 훈련시퀀스, 전방향 오류정정을 위해 (255, 249) Reed-Solomon채널코딩이 적용된다. 그리고 송수신 제어는 MAC에 의해 관리된다.

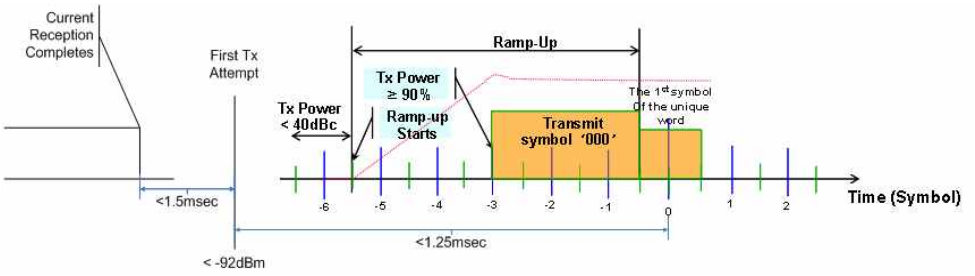
<그림 3-2-2-8, 3-2-2-9>은 VDL M2 송수신기의 수신모드에서 송신모드 및 송신모드에서 수신모드로의 절차와 타이밍을 나타낸다. 송신모드 로의 절환은 마지막 프레임의 마지막 비트를 수신한 후 1.5msec이내에 첫 번째 송신시도를 해야 한다. 수신모드 로의 절환도 마지막프레임의 마지막 비트를 전송한 후 1.5msec이내에 수신모드로 전환되어야 한다.



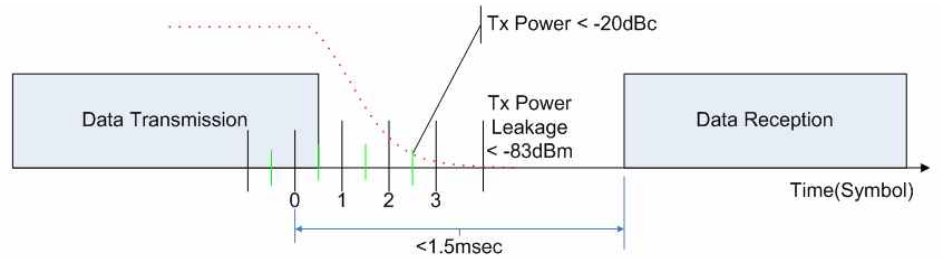
<그림 3-2-2-6> 물리계층 기능흐름도



<그림 3-2-2-7> 물리계층 데이터처리 절차



<그림 3-2-2-8> 수신에서 송신으로 절환 타이밍

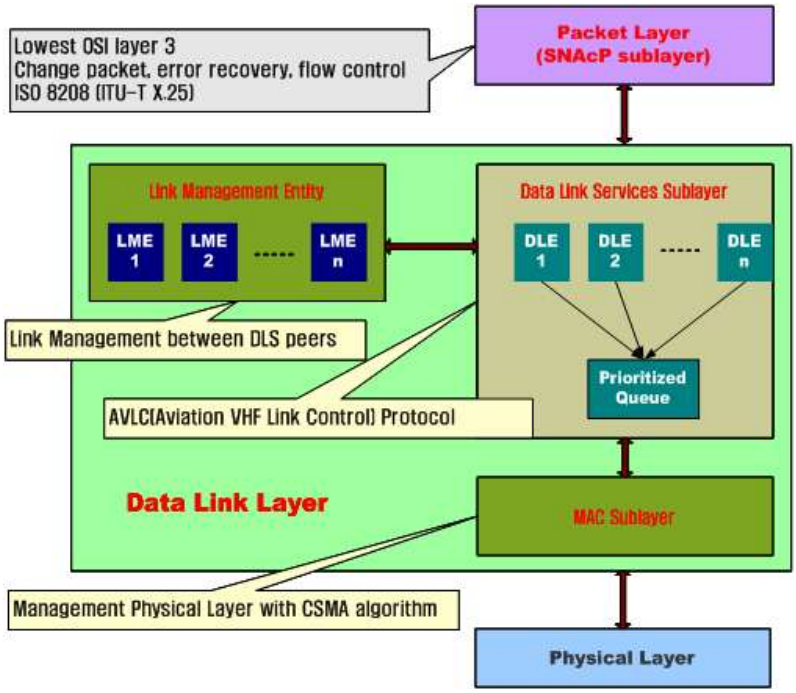


<그림 3-2-2-9> 송신에서 수신으로 절환 타이밍

다. 데이터링크 계층

링크계층은 하나의 네트워크개체로부터 다른 네트워크개체로까지의 정보전송에 대한 역할을 수행하며 <그림 3-2-2-10>와 같은 구조를 가지며 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 지국들은 채널 획득을 위한 동등한 기회를 가지는 동시에 시스템 성능을 최대로 하면서 전송 지연과 충돌을 최소화 한다. CSMA에 의해 채널 획득을 한 지국은 창의 크기, 데이터 전송율, 최대프레임크기에 의해 채널 점유가 제한되는데, 구체적으로 현재 전송률로 k-1 개의 최대 프레임 크기만큼 전송할 수 있는 시간동안만 채널을 점유할 수 있다. VDL M2 프로토콜에서는 이러한 CSMA알고리즘에 대해 <표 3-2-2-5>와 같이 4가지의 기본 파라미터에 의해 성능을 최적화 할 수 있다.



<그림 3-2-2-10> 데이터링크 계층의 구조

<표 3-2-2-5> MAC 시스템 파라미터

파라메터	하한	상한	Default
Inter-access Delay Timer, TM1(msec)	0.5	125	4.5
Channel Busy Timer, TM2(sec)	6	120	60
Persistence, p	1/256	1	13/256
Maximum number of Access Attempts, M1	1	65535	135

DLS서브계층은 비트지향 단방향 기지간(A/G) 통신을 제공한다. 즉, 채널 접근 및 점유는 하위계층인 MAC이 제공해주고, 이를 바탕으로 DLE를 생성하여 연결지향 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 기반으로 항공통신 ATN망에 적합하도록 일부를 수정한 AVLC(Aviation VHF Link Control)프로토콜을 사용하며 프레임

형태는 아래 <표 3-2-2-6>과 같이 구성된다.

<표 3-2-2-6> AVLC 프레임 포멧

		Bit Number							
		MSB							LSB
Description	Octet 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

N(R)			P/F	N(S)				
8	7	6	5	4	3	2	1	
							0	1. *INFO Frame, N(S)=seq no. of this frame, N(R)=seq no. of next frame expected P=0 New Information ONLY, P=1 contains new ACK also*
							1	2. Either - Numbered Supervisory OR Un-numbered Control frame
						0	1	2.1 Numbered Supervisory
				0	0	0	1	2.1.1 *Numbered Supervisory - Receive Ready RR*
				1	1	0	1	2.1.2 *Numbered Supervisory - Selective Reject SREJ*
						1	1	2.2 Un-numbered Control
0	0	0		0	0	1	1	2.2.1 *UI*
0	1	0		0	0	1	1	2.2.2 *DISC*
1	0	0		0	1	1	1	2.2.3 *FRMR*
1	0	1		1	1	1	1	2.2.4 *XID* ..... there are 9 XID Frame Types (See Below)
1	1	1		0	0	1	1	2.2.5 *TEST*

<그림 3-2-2-11> 제어필드와 AVLC 프레임 종류

Name	C/R	P/F	h	r	x	v
GSIF	0	0	-	-	-	-
XID_CMD_LE	0	1	0	0	x	x
XID_CMD_LCR	0	0	0	1	x	x
XID_CMD_LPM	0	1	-	-	-	-
XID_CMD_HO	0	1	1	0	x	x
XID_CMD_HO	0	0	1	0	x	x
XID_RSP_LE	1	1	0	0	x	x
XID_RSP_LCR	1	1	0	1	x	x
XID_RSP_LPM	1	1	-	-	-	-
XID_RSP_HO	1	1	1	0	x	x

<그림 3-2-2-12> XID 프레임 종류

VME(VDL Management Entity)는 LME(Link Management Entity), DLE 생성을 통해 상대와 링크를 설립하고 서비스 영역을 벗어날 경우에 핸드오프를 수행하는 등 전반적인 링크관리를 담당한다. 그리고, 링크연결 변화정보를 상위계층의 IS-SME에게 알려주는 역할을 담당하고 있다. 항공국의 LME가 어떤 지상국과 연결하기 위해서는 먼저 가용한 주파수 대역를 찾고 지상국 식별을 통해 연결을 시도한다. 연결을 시도할 때 양쪽은 연결에 필요한 파라메터와 지원 가능한 부가사항 정보 등을 XID프레임에 포함시켜 상대방에게 알려준다.

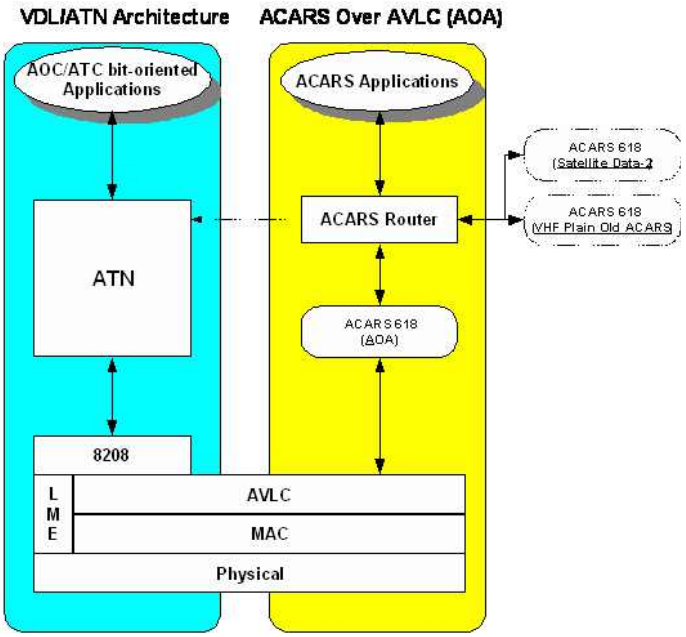
라. 상위계층

VDL M2 서브네트워크에 사용되는 프로토콜은 공식적으로는 서브네트워크 접근 프로토콜(SNAcP : Subnetwork Access Protocol)이라 불리며, RTCA/DO-224에 언급된 일부사항을 제외하고 ISO 8208 x.25를 만족한다. A/G 인터페이스 상에서, 항공국 서브네트워크개체는 DTE로써 동작하고, 지상국 서브네트워크개체는 DCE로 동작한다. 그러나 아직까지 ATN과 A/G라우터가 개발되지 않아 ISO8208프로토콜은 사용되지 않고 있다. 따라서, 본 과제에서 AOA프로토콜을 구현하여 사용자간 데이터를 전송하도록 설계하였다. 그리고, ATC 사용자 응용시스템으로는 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications), ADS-C에 대한 기능을 구현하여 VDL M2의 유용성에 대한 시험을 수행할 계획이다.

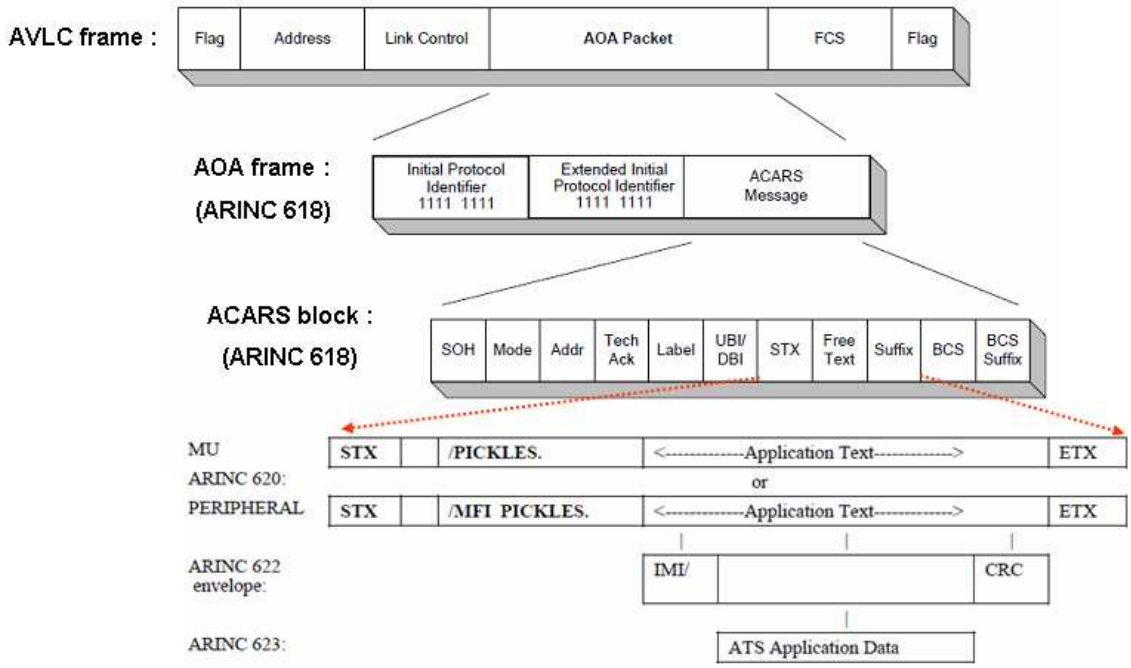
AOA는 ACARS 메시지를 AVLC 프레임에 캡슐화시켜 VDL M2 시스템 상에서 전송이 가능하도록 하는 서비스로 ARINC 618-6 문서에 잘 나타나 있다. VDL M2 시스템은 AVLC (링크 계층) 상에서 다중 네트워크 프로토콜을 지원하여 <그림 3-2-2-13>과 같이 AOA와 ATN 서비스가 VDL M2 매체 상에서 공존할 수 있도록 할 수 있다. 데이터링크 계층 프레임은 호스트가 두 가지 종류의 프레임을 구분할 수 있도록 하는 서명 요소(signature component)를 통해 둘 중 하나의 패킷을 전송할 수 있다. AOA는 기존 데이터링크 서비스 이용자들의 점증하는 요구를 지원하고 완전한 ATN 서비스로의 전환을 촉진하기 위해 제공되는 서비스이다.

AOA 상위계층에는 문자 기반 ACARS네트웨크에서 지상 사용자와 항공기의 사용자간의 인터페이스 기능이 필요하며, ARINC 620문서에 잘 나타나 있다. ARINC 620에는 DSP의 기능 및 역할과 DSP와 지상 사용자간의 인터페이스를 정의 되어 있고, DSP내의 A/G Segment와 G/G Segment간의 상호 변환 기능에 대해서도 설명되어 있다. 그리고, ARINC 622에는 ACARS A/G 네트워크상에서의 ATS응용들과 인터페이스(Application Data Unit)에 대해서도 정의되어 있다.

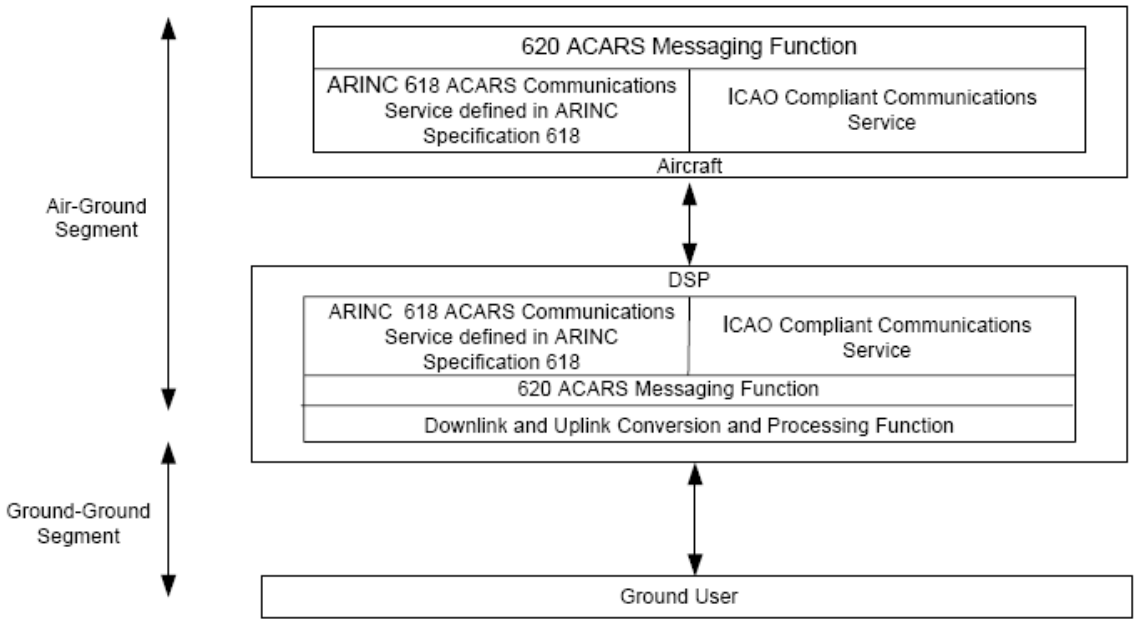
본 과제에서는 데이터링크의 운용성 평가를 위해 비트 기반의 응용서비스인 CPDLC를 구현하고자 함으로 이를 문자 기반 네트워크인 ACARS에 적용하기 위해서는 ARINC 620에 정의 되어 있는 ACARS Bit-to-Hex(ISO-5)변환 알고리듬을 이용하여 CPDLC 비트기반 정보를 문자정보로 변환하여 ACARS네트워크에 적용하게 된다.



<그림 3-2-2-13> VDL과 AOA 비교



<그림 3-2-2-14> AOA 및 상위계층 Packet Format

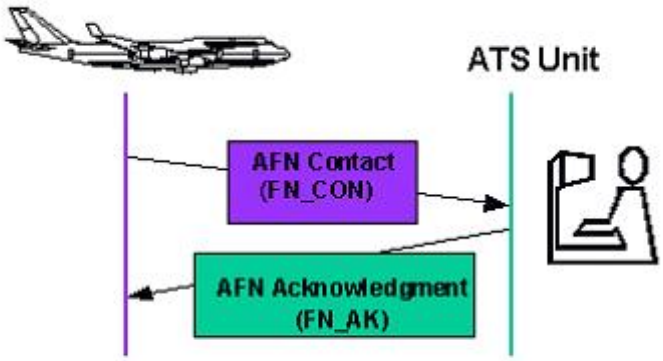


<그림 3-2-2-15> ARINC 618과 ARINC 620간의 인터페이스 개념

마. 운용시험장비

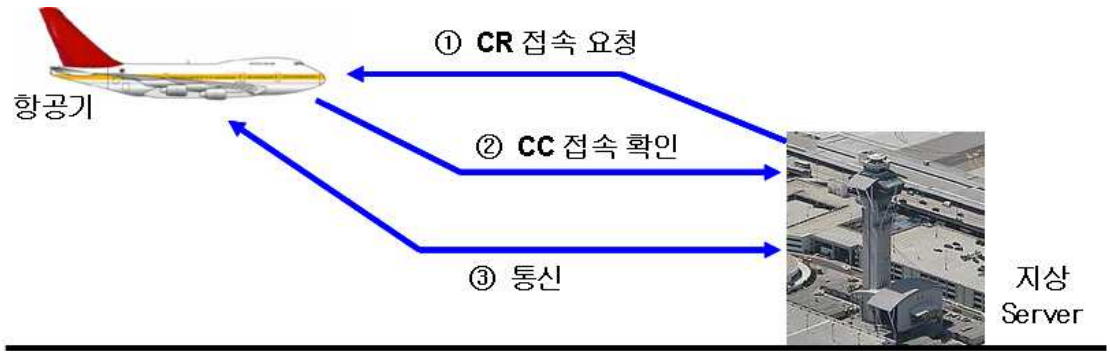
운용시험장비는 데이터링크를 운용성을 평가위하여 ATS 기능을 포함하는 항공기 End User와 지상 End User의 역할을 수행하게 된다. 따라서, 운용시험장비는 ATS 응용서비스 일환으로 AFN(ATS Facility Notification), CPDLC(Controller-Pilot Data Link Communication), ADS(Automatic Dependent Surveillance) 기능 일부를 구현하여 VDL Mode 2 시스템의 기능/성능 검증과 통합 운용시험을 위해 개발된 시험 장비이다. 본 과제에서는 ATS 응용서비스로 FANS 1/A의 핵심기능인 AFN, CPDLC, ADS-C기능을 구현하였다.

AFN은 지상과 항공기가 지원 가능한 항공교통서비스를 식별하고 접속을 기원하는 기능이다. 즉, ATS(or ATC)기관에게 항공기가 지원하는 응용기능의 종류(ADS, CPDLC 등), 버전, 항공기 등록번호(항공기 주소) 등의 정보를 제공하고 ATS기관은 해당 기관의 고유주소(ATC센터 주소)를 제공한다. 이렇게 제공된 주소는 연결지향 서비스 정보를 교신하기 위해서이다. <그림 3-2-2-16>과 같이 로그온은 항공기가 FN_CON이라는 연결 메시지를 지상으로 전송함으로 요구를 하게 되고 ATC센터에서 FN_ACK 메시지를 발송함으로 로그온 된다.



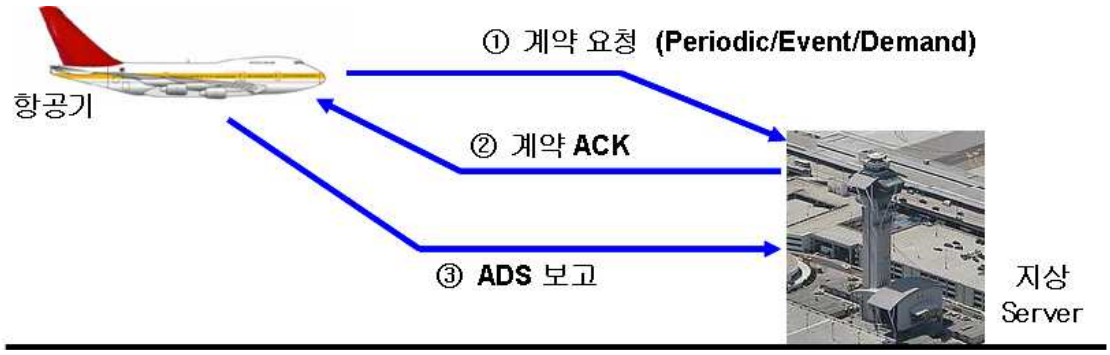
<그림 3-2-2-16> AFN 연결 절차

CPDLC는 조종사와 관제사 사이의 관제업무를 위해 데이터통신을 이용한 메시지 전송을 가능하게 하는 것으로 기존의 음성통신에 의존한 관제를 대체하기 위한 응용서비스이다. CPDLC서비스를 위해서는 AFN 이후 관제기관(ATC)에서 최초 접속을 요청하게 되며 항공기 연결확인을 함으로 상호 메시지 교환을 위한 연결이 유지된다.



<그림 3-2-2-17> CPDLC 연결 절차

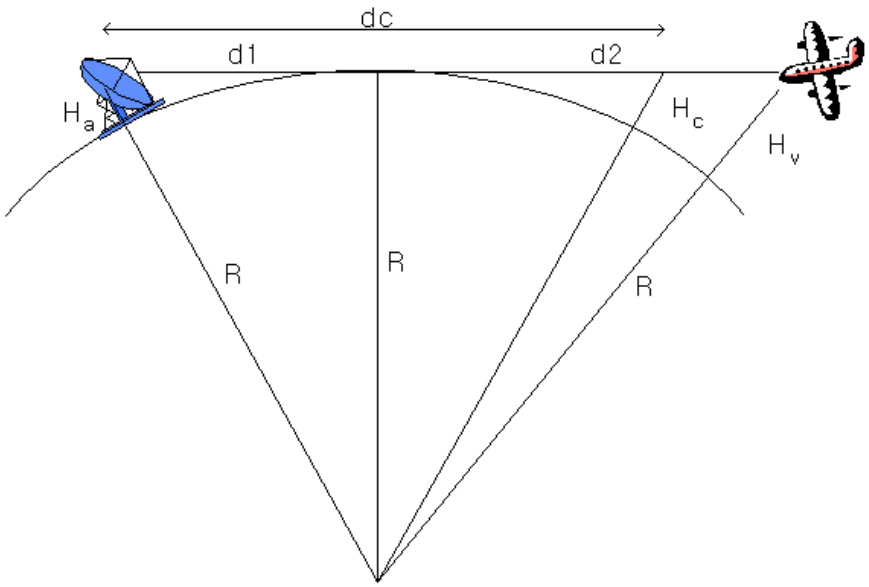
ADS는 항공기의 위치 및 상태 정보를 지상으로 송신하는 기능으로 감시 및 관제업무에 활용 가능한 항공교통서비스(ATS)이다. 점대점 연결로 항공기의 ID, 비행번호(FLT No), 위도, 경도, 고도, 시각 등의 정보를 ATS기관에 보고하게 되며 ADS-B와는 구별된다. 표준서에는 주기(Periodic), 이벤트(Event), 요구(Demand) 모드가 가능하도록 되어 있지만 본 과제에서는 주기모드 접속 방식만 구현하여 사용한다.



<그림 3-2-2-18> ADS 연결 개념

바. 시스템 전파전파 분석

항공통신은 최대 운용반경이 200nm인 장거리 링크이므로 가시선이 확보되지 않으면 장애물에 의한 매우 극심한 전력 감쇄현상을 겪게 된다. 그리고 이러한 장거리 통신은 일반적으로 지상표면을 따라 전파경로가 형성됨으로 다중경로에 따른 느리면서도 아주 깊은 페이딩을 겪게 됨으로 가시선 분석을 통해 페이딩의 영향을 고려하여야 한다. 가시선 분석은 일반적인 기하학적인 가시선과 달리 고도에 따른 공기 중의 유전율 차이로 인해 전파의 굴절이 발생되며 이는 기하학적인 지구등가반경을 구하므로 계산할 수 있다. 일반적으로 온대지방에서의 등가변경계수(Kr)는 4/3정도, 열대지방은 4/3~3/2, 한대지방은 6/5~4/3정도 이다.



<그림 3-2-2-19> 지구 곡률반경을 고려한 전파경로

전파가 지면을 접선하면서 지나가는 경로의 거리는 아래식과 같이 구할 수 있다.

$$d_1 = \sqrt{(R+H_a)^2 - R^2} = \sqrt{H_a(2R+H_a)} \approx \sqrt{2RH_a} \qquad (3\text{-}1\text{-}1)$$
$$d_2 = \sqrt{(R+H_v)^2 - R^2} \approx \sqrt{2RH_v}$$
$$d = d_1 + d_2 \approx \sqrt{2K_r a}\,(\sqrt{H_a} + \sqrt{H_v})$$

여기서, H_a=안테나의 해발고, H_v=비행체고도, d1=안테나에서 장애물까지의 거리, d_2는 장애물에서 비행체까지의 거리, $d=d_1+d_2$, a=지구반경(6,370Km)이고 R=등가지구반경(=$K_r a$)이다.

따라서, 전파 경로 상에서 Clearance는 아래식과 같이 표현된다.[7]

$$h_c = h_1 - \frac{(h_1 - h_2)d_1}{d} - \frac{d_1 d_2}{2K_r a} - h_s\,[m] \qquad (3\text{-}2\text{-}2)$$

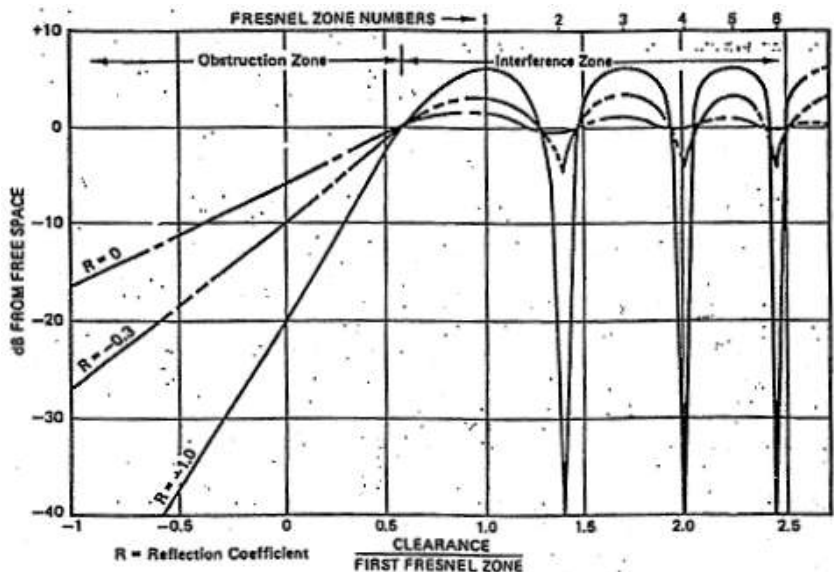
여기서, h_1=안테나의 해발고, h_2=비행체고도, d_1=안테나에서 장애물까지의 거리,

d_2는 장애물에서 비행체까지의 거리, $d=d_1+d_2$, a=지구반경(6,370Km), h_s=장애물 해발고이다. 그런데 전파 경로상에서 장애물이 제 1 프레즈넬 영역에 포함되면 -일반적으로 60%이내- <그림 3-2-20>과 같이 전파회절에 의한 급격한 전력 감쇄가 발생되므로 이를 가시선 분석에 포함하여야 하다. N번째 프레즈넬 영역을 표현하는 식은 아래와 같이 표현된다.[6]

$$F_N = \sqrt{\frac{N\lambda d_1 d_2}{d}} \qquad (3\text{-}2\text{-}3)$$

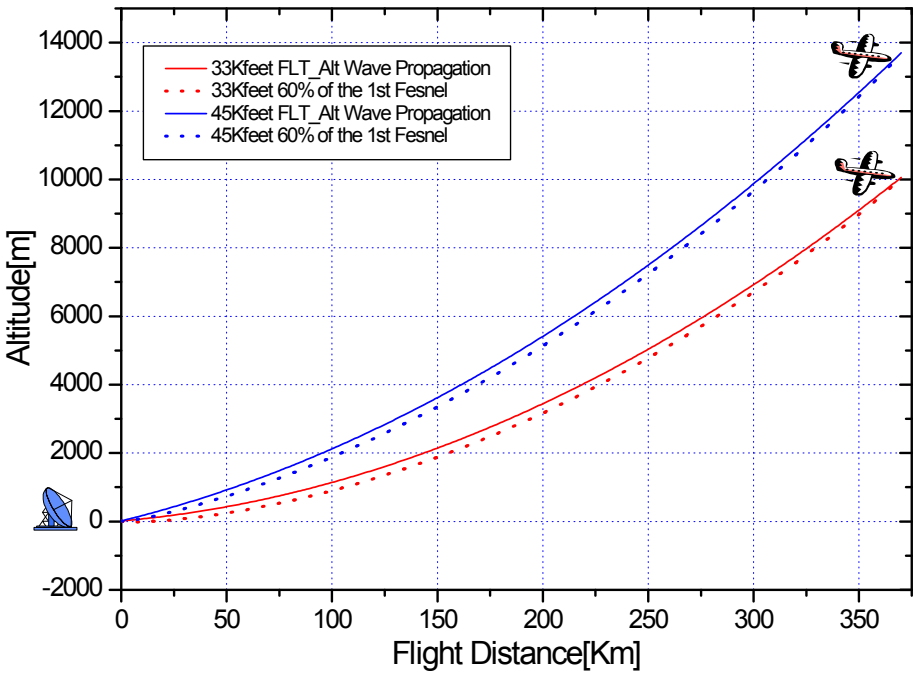
여기서 λ=파장이고 $d=d_1+d_2$이다.

(식 3-2-2)는 직접파의 전파경로를 나타내는 식이고 (식 3-2-3)은 이 전파경로에서 1차 프레즈넬 영역을 나타내는 내고 있다. 만약 직접파의 전파경로에서 1차 프레즈넬 영역의 60%의 위치에 방해물체가 존재하게 되면 <그림 3-2-24>와 같이 급격한 전파 페이딩을 겪게 되는 전파방해 영역에 포함되게 된다. 그러므로 이 영역에 물체나 지형지물이 들어오지 않도록 전파전파 경로를 보장하여야 한다. 따라서 전파전파의 경로의 신뢰성을 보장하기 위해서 전파전파 분석을 통해 전파의 경로를 해석해야 하며 이 결과를 링크 버짓 계산에 고려할 필요가 있다.

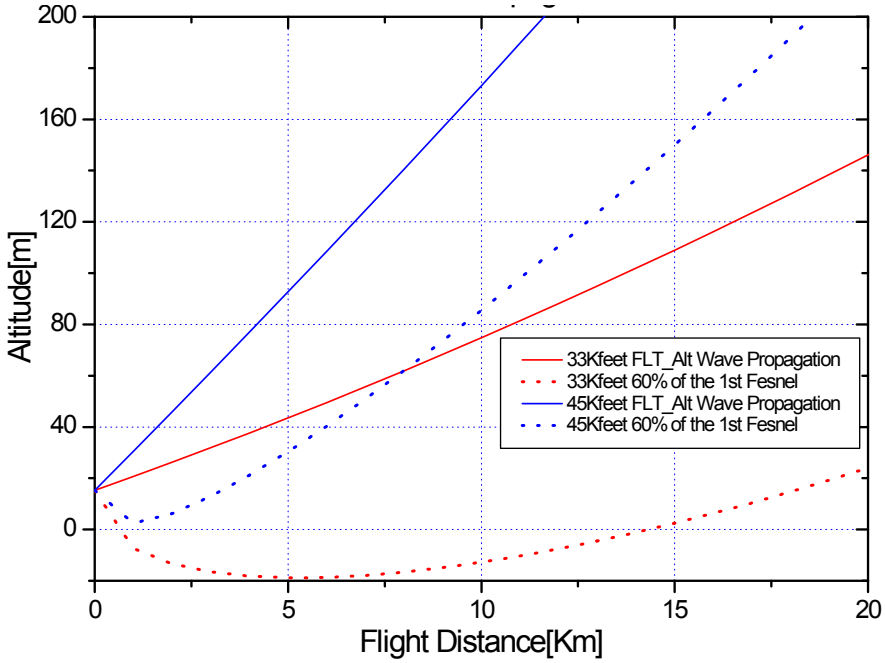


<그림 3-2-2-20> 프레즈넬 영역과 전파 특성

본 연구에서 분석한 전파경로는 <그림 3-2-2-21, 3-2-2-22>와 같이 나타난다. 여기서, 지상안테나의 높이는 50[ft]로 가정하였고 반송파 주파수는 137MHz로 설정하여 분석하였다. 이들 그림에서 살펴보면 200nm거리에서 비행고도가 33,000ft인 경우에는 전파방해영역에 물체가 들어가게 되며, 45,000ft 비행고도인 경우에는 전파방해영역에 들어가는 물체는 없는 것으로 분석되었다.



<그림 3-2-2-21> 200nm 운용반경에 대한 전파경로 분석



<그림 3-2-2-22> 200nm 운용시 다중경로 발생지역에 대한 확대

사. 링크 해석

전송전력, 구성품 특성 및 안테나 설계의 적절성을 판단하기 위해 링크버짓을 계산하게 된다. 이를 계산하기 위해서는 기본적인 제한조건 및 파라메터들이 설정되어야 하는데, 현재까지 설계된 기본적인 제한조건 및 파라메터들을 정리하고 아래 링크버짓 계산절차에 따라 수행하면 된다.

(1) 유효 송신전력(EIRP : Effective Isotropic Radiated Power)

송신안테나의 최대유효 방사전력은 아래 식과 같이 표현된다.

$$EIRP[dB] = P_t[dBm] + G_t[dBi] - L_0[dB] \qquad (3\text{-}2\text{-}4)$$

여기서, L_o는 Diplexer 감쇄(1dB), 케이블 손실, 총 임피던스 정합손실 등으로 구성된다.

임피던스 정합손실은 전압정재파비(VSWR)로부터 아래식과 같이 계산할 수 있다.

$$\Gamma = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \qquad (3\text{-}2\text{-}5)$$
$$Mismatch\ \ Loss[dB] = -10\log(1-|\Gamma|^2)$$

여기서 Γ는 반사계수이다.

(2) 자유공간 손실

자유공간 손실은 아래 식과 같이 사용주파수와 거리의 함수로 표현된다.

$$L_s = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = (\frac{4\pi df}{c})^2 \qquad (3\text{-}2\text{-}6)$$
$$= 32.44[dB] + 20\log d'[dB \cdot Km] + 20\log f'[dB \cdot MHz]$$

여기서, c=빛의 속도($3x10^8$)이고, λ=파장, d=운용거리(Km), f=운용주파수(MHz)이다.

(3) 수신전력(Pr)

수신전력은 아래식과 같이 유효 송신전력, 자유공간 손실, 수신안테나 이득 및 수신단 손실로 구성된다

$$P_r[dBm] = EIRP[dBm] - L_s[dB] - L_{at}[dB] - L_{GR}[dB] + G_r[dB] \qquad (3\text{-}2\text{-}7)$$

여기서, L_{at}는 기상 및 대기와 관련한 손실을 나타내고, L_{GR}은 LOS와 지상반사 경로에 의한 상호 간섭으로 발생하는 손실을 나타낸다. 137MHz정도에서는 대시 및 기상에 의한 손실은 무실할 수 있을 정도로 적은 값이다. L_{GR}은 지표면에 의한 반사와 대기 굴절이 복합적으로 영향을 미치는 현상이다. 이러한 현상은 Johnson-Gierhart Model로 모델링 된다. 이를 간략화 하면 아래와 같이 Simple ray-tracing model로 표현할 수 있다.

$$\frac{1}{L_{GR}} = \left| e^{j2\pi d/\lambda} + \Gamma e^{j2\pi(d_1+d_2)/\lambda} \right|^2 \quad (3\text{-}2\text{-}8)$$

여기서, d는 LOS경로의 거리이고, d1은 지상송신기와 Specular반사점 간의 거리, d2는 Specular반사점 항공국까지의 거리, Γ는 Specular반사점의 반사계수이다. 여기서, Γ=-1로 설정하고 수식을 정리하면 아래와 같이 표현된다.

$$L_{GR} = -20\log\left|2\sin\left(\pi\frac{d_1+d_2-d}{\lambda}\right)\right| \quad (3\text{-}2\text{-}9)$$

(4) 잡음밀도

수신단에 입력되는 잡음은 수신안테나, 케이블 및 수신기의 열잡음과 은하계, 빛, 지표면에서 방사되는 잡음으로 구성되는 공간(Sky) 잡음으로 근사화 할 수 있다. 그런데, 공간잡음은 미미한 값이므로 무시하면 아래와 같은 열 잡음전력밀도를 구하는 식으로 표현할 수 있다

$$\begin{aligned} N_0 &= kT_s^0 \\ &= -228.6[dB/K\cdot Hz] + 10\log T_s^0 \end{aligned} \quad (3\text{-}2\text{-}10)$$

여기서 k= *Boltsmann*상수($1.38\times 10^{-23}[J/K]$) 이고 T_s^0는 수신안테나에서부터 수신기까지의 시스템온도이다.

시스템온도는 아래식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} T_s^0 &= T_A^0 + (L-1)290K + L(F-1)290K \\ &= T_A^0 + T_L^0 + L\times T_R^0 \end{aligned} \quad (3\text{-}2\text{-}11)$$

여기서, T_A^0= 안테나 온도, L=LNA입력 전단의 라인손실, F=수신단 저잡음 증폭기(LNA)의 잡음지수이다.

잡음지수는 증폭기와 같은 two-port network나 디바이스의 잡음 정도를 나타는 파라메터로 아래식과 같이 표현된다.

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \qquad (3\text{-}2\text{-}12)$$

이를 증폭기에 대한 잡음온도로 나타내면 증폭기의 유효잡음온도는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

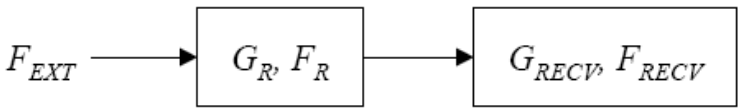
$$T_R^0 = (F-1)T_o^0 \qquad (3\text{-}2\text{-}13)$$

여기서, T_o^0는 참조온도로 일반적으로 290 K를 선정한다. 그리고 케이블과 같은 수동소자의 Line Loss, L을 잡음온도로 나타내면 다음과 같다

$$T_L^0 = (L-1)T_o^0 \qquad (3\text{-}2\text{-}14)$$

<그림 3-2-2-24>과 같이 외부 잡음지수 주어졌을 때에 입력 잡음온도는 아래와 같이 결정된다.

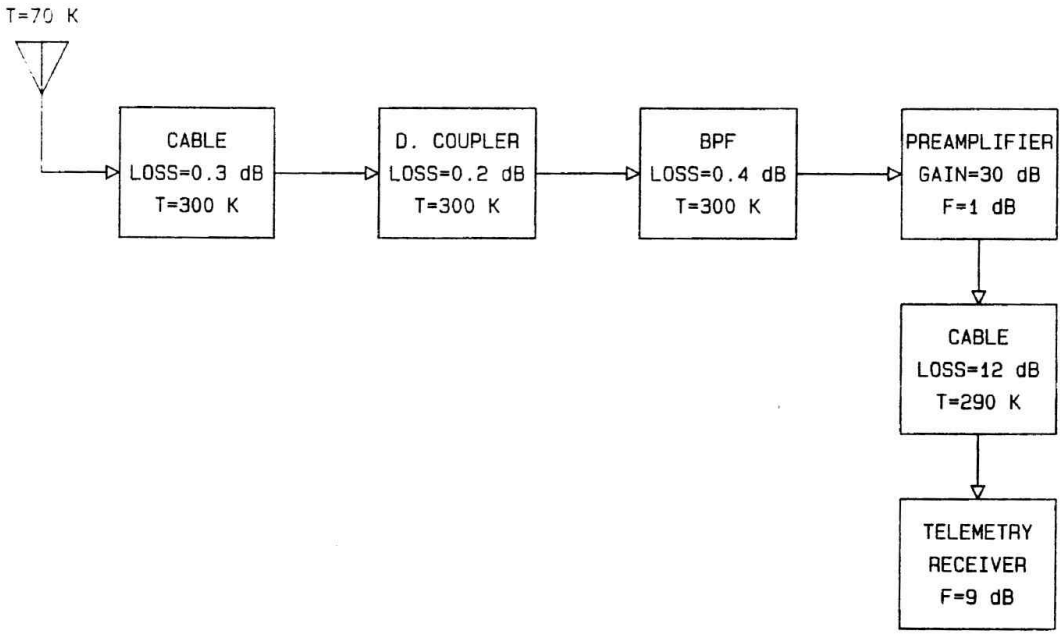
$$T_{IN}^0 = T_o^0 + T_o^0(F_{EXT}-1) \qquad (3\text{-}2\text{-}15)$$



<그림 3-2-2-23> 디바이스 연결모델

만약에 여러 단의 디바이스나 네트워크로 구성되어 있으면 System의 유효잡음온도는 다음 식과 같이 표현 할 수 있다.

$$T_{sys}^0 = T_1^0 + \frac{T_2^0}{G_1} + \frac{T_3^0}{G_1 G_2} + \cdots + \frac{T_n^0}{G_1 G_2 \cdots G_{n-1}} \qquad (3\text{-}2\text{-}16)$$



<그림 3-2-2-24> TM시스템의 수신단의 이득 및 손실 구성도

<그림 3-2-2-24>에서 Preamplifier입력을 기준점으로, BPF, directional coupler, 케이블 손실을 통합하면 Preamplifier 전단의 손실은 총 0.9dB가 된다.

$$\begin{aligned} Antenna: T_A &= 70K \\ BPF, Directional\,Coupler, Cable: L_1 &= 0.9dB = 1.23,\ G_1 = 0.81 \\ Preamplifier: F_{PreAmp} &= 1.0dB = 1.26,\ G_2 = 1000 \\ Cable: L_2 &= 12dB = 15.85,\ G_3 = 0.063 \\ Receiver: F_R &= 9dB = 7.94 \end{aligned} \tag{3-2-17}$$

이를 Preamplifier 입력단을 기준으로 등가의 시스템잡음 온도로 나타내면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$T_1 = (1.23-1)300K = 69.0K \quad (3\text{-}2\text{-}18)$$

$$T_2 = (1.26-1)290K = 75.4K$$

$$T_3 = (15.85-1)290K = 4306.5K$$

$$T_4 = (7.91-1)290K = 2012.6K$$

$$\begin{aligned} T_{system} &= T_A/L_1 + T_1/L_1 + T_2 + T_3/G_2 + T_4/G_2G_3 \\ &= 70/1.23 + 69.0/1.23 + 75.4 + 4306.5/1000 + 2012.6/63 \\ &= 224.6K \end{aligned}$$

시스템 잡음온도는 시스템 구성품의 잡음온도와 이득에 따라 변할 수 있다.

만약 안테나의 이득이 32.3dBi이면 시스템의 G/T는 “Figure of Merit”이며 단위는 dB/K로, Preamplifier입력에서의 유효신호이득 대 Preamplifier입력에서의 유효시스템 잡음온도의 비로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} G/T &= (32.2-0.9) - 10\log(224.6) \quad (3\text{-}2\text{-}19) \\ &= 7.8dB/K \end{aligned}$$

(5) 링크 마진

TM 데이터링크 수신단의 링크마진을 구하면 아래 식과 같이 표현된다.

$$M_{link}[dB] = EIRP[dB] + \frac{G_r}{T}[dB] - L_s[dB] - L_{at}[dB] - k - 10\log R_b - \frac{E_b}{N_0}|_{Required}[dB]$$

(3-2-20)

(6) 링크버짓 계산

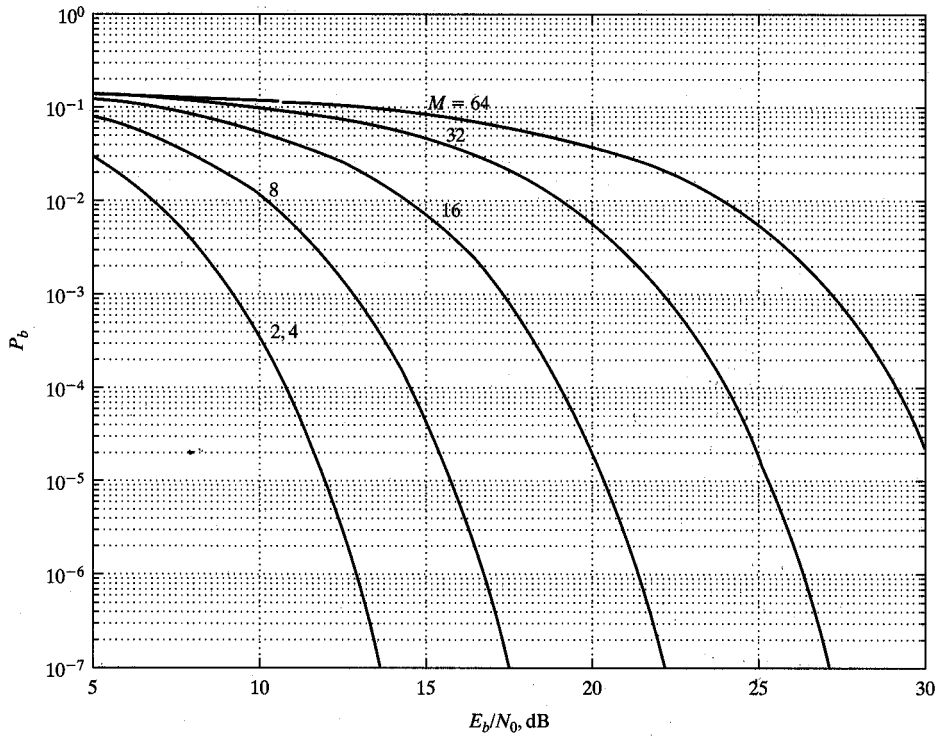
항공통신시스템의 통신링크는 일반적으로 이동통신과 마찬가지로 다중경로, 기상, 대기, 도플러효과 등에 의한 극심한 페이딩 현상이 나타난다. 계산된 수신 전력은 50% 시간정도 유용하다고 말할 수 있다. 왜냐하면, 계속적인 대기환경의 변화가 발생되며 이는 수신 반송파 크기는 평균값에서 변화를 발생시킨다. 따라서, 안정된 통신링크를 형성하기 위해서는 충분한 페이딩 마진을 갖도록 설계해야 하는데 VDL의 경우 DSB-AM 아날로그 음성시스템보다 나쁘지 않는 링크 가용도를 전 서비스 영역에서 보장하기 위해서는 최소 5dB의 링크마진이 필요하다.

<표 3-2-2-7> 페이딩마진 대비 링크의 신뢰도

Fade margin	Reliability
8 dB	90%
18 dB	99%
28 dB	99.9%
38 dB	99.99%
48 dB	99.999%

통신링크의 성능분석은 디지털 통신에는 요구되는 비트오류를 만족할 수 있도록 E_b/N_0를 계산하고 요구 E_b/N_0보다 큰 값을 링크마진으로 계산되며 이는 링크의 신뢰도와 관련이 있다. VDL M2는 D8PSK 변조방식을 사용함으로 이를 기준으로 계산하였으며, D8PSK의 비트오률(Pb) 10^{-3}을 만족시키는 E_b/N_0는 이론적으로 <그림 3-2-2-25>에서 살펴보면 13[dB]정도되어야 한다.

본 과제에서 구현한 시스템의 주요 특성은 송신 출력은 15W, 탑재안테나 이득은 -4dBi, 지상 안테나의 이득은 2.15dBi이고 지상수신기의 잡음지수는 10dB이고 탑재수신기의 수신잡음은 14dB로 설정하였다. 이러한 시스템 파라메터는 <표 3-2-2-8>과 같이 종합하였다. 이를 바탕으로 LOS에 대한 링크마진을 계산하면 <표 3-2-2-9, 3-2-2-10>과 같이 계산된다. 여기서 안테나가 지향하는 Sky온도(T_{sky})=70°K로 가정하였다.



<그림 3-2-2-25> M-ary DPSK에 대한 Eb/N0 대 BER

<표 3-2-2-8> 송수신기 및 채널 특성

구 분		사 양	비고
지상 장비	송신전력	최소 15W	
	송신기 Duty Cycle	100%	
	송신기/안테나 사이 케이블 손실	2dB	
	지상 안테나 이득	6dBi	
	지상 안테나 높이	50ft	
	수신잡음지수	10dB	
탑재 장비	송신전력	최소 15W	
	송신기 Duty Cycle	20%	
	송신기/안테나 사이 케이블 손실	2dB	
	탑재안테나 이득	-4dBi	
	수신잡음 지수	14dB	
송신기 구현 손실		1.0dB	
수신기 구현 손실		1.2dB	
RC 필터 손실		1.8dB	
최소요구 E_b/N_0		13dB	@10^{-3}BER
Doppler 천이		±243Hz @118MHz ±282Hz @137MHz	항공기의 상대속도: 0~1200knots
Doppler Rate		0~7.8 Hz/sec	항공기의 상대속도: 0~1200knots 2g Aircraft Turn
최대 Delay Spread		약 200 μsec 최대 1msec까지 발생	지면반사에 의한 Diffuse
Doppler Spread		최대 500Hz	Scattering from the tips of rotor craft blades

본 연구에서 링크버짓 계산은 지상안테나의 높이는 50[ft]로 가정하였고 반송파 주파수는 137MHz로 설정하여 계산하였다. 최대 운용거리인 200nm거리에서 비행고도가 33,000ft인 경우에는 전파방해영역에 물체가 들어가게 되며, 45,000ft 비행고도

인 경우에는 전파방해영역에 들어가는 물체는 없다는 것을 전파전파 분석을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 이들의 영향을 고려하여 링크버짓을 계산하면 업링의 경우 <표 3-2-2-9>와 같이 나타나고 다운링크의 경우 <표 3-2-2-10>과 같이 나타난다. 이들 표에서 지상국으로부터 200nm떨어진 공에 항공기가 비행할 경우, 업링크의 경우 고도 33,000ft이면 링크 경로상에 지면 반사파에 의한 페이딩 때문에 통신이 원활하지 않지만, 다운링크의 경우 링크마진이 5dB정도 되기 때문에 원활한 통신이 가능할 것으로 판단된다. 그러나, 45,000ft고도인 경우에는 반사파 페이딩의 영향이 줄어들어 업링크 및 다운링크 모두 안정된 링크를 형성하고 있음을 알 수 있다.

<표 3-2-2-9> VDL M2 상향링크(Uplink) 버짓

항목(Slant Range=200nm, Ground Antenna Height=50ft)		내 용	값	
			비행고도:33,000ft	비행고도:45,000ft
1	**유효송신전력(EIRP)**	**EIRP**	**45.8dBm**	**45.8dBm**
1.1	송신전력(P_t)	15[W], 41.8[dBm]	41.8dBm	41.8dBm
1.2	케이블 손실	2dB	-2dB	-2dB
1.3	지상안테나 이득(G_t)	6.0[dBi]	6dB	6dB
2	**자유공간 손실**	**L_s**	**-126.1dB**	**-126.1dB**
2.1	상 수	[dB·MHz/Km]	-32.44dB	-32.44dB
2.2	운용거리(d=200nm)	370Km, 20log(d)[dB·Km]	-51.36dB	-51.36dB
2.3	주파수(f=137MHz)	20log(f)[dB/Mhz]	-42.73dB	-42.73dB
3	**다중경로 손실(반사계수=-1)**	$L_{GR}=-20\log\left\|2\sin\left(\pi\frac{r_1+r_2-d}{\lambda}\right)\right\|$	**-10dB**	**-1.4dB**
4	**수신신호크기**	**-2.77[dB/°K]**	**-97.3dBm**	**-88.7dBm**
4.1	수신안테나 이득(G_r)	-4dBi	-4dBi	-4dBi
4.2	수신케이블 손실(L_R)	-3dB	-3dB	-3dB
5	**총시스템잡음전력**	**-228.6[dB/°K·Hz]**	**-119.1dBm**	**-119.1dBm**
5.1	외부잡음지수(F_{ex})	10dB		
5.2	수신기 잡음지수(F_R)	14dB		
5.3	수신단 시스템잡음온도	$T_0\{[F_{ex}+(L_R-1)]/L_R+(F_{RECV}-1)\}$	39.3dBK	39.3dBK
5.4	볼쯔만상수(k)	-228.6[dB/K·Hz]	-198.6[dBm/K·Hz]	-198.6[dBm/K·Hz]
5.5	심볼대역폭	10.5KHz	40.2	40.2
6	**요구 E_s/N_0**		**21.8dB**	**21.8dB**
6.1	Theory E_s/N_0	E_b/N_0@10-3=13, E_s/N_0=17.8	17.8dB	17.8dB
6.2	Raised Consine Filter Loss	1.8dB	1.8dB	1.8dB
6.3	수신기 구현 손실	1.2dB	1.2dB	1.2dB
6.4	송신기 구현손실	1.0dB	1.0dB	1.0dB
7	**요구수신감도**	**-98dBm**	**-98dBm**	**-98dBm**
8	**페이딩 마진(M_{link})**		**0.1**	**8.7**

<표 3-2-2-10> VDL M2 하향링크 버짓

항목(Slant Range=200nm, Ground Antenna Height=50ft)		내 용	값	
			비행고도:33,000ft	비행고도:45,000ft
1	**유효송신전력(EIRP)**	**EIRP**	**35.8dBm**	**35.8dBm**
1.1	송신전력(P_t)	15[W], 41.8[dBm]	41.8dBm	41.8dBm
1.2	케이블 손실	2dB	-2dB	-2dB
1.3	탑재안테나 이득(G_t)	-4.0[dBi]	-4dB	-4dB
2	**자유공간 손실**	**L_s**	**−126.1dB**	**−126.1dB**
2.1	상 수	[dB·MHz/Km]	−32.44dB	−32.44dB
2.2	운 용 거 리 (d=200nm)	370Km, 20log(d)[dB·Km]	−51.36dB	−51.36dB
2.3	주파수(f=137MHz)	20log(f)[dB/Mhz]	−42.73dB	−42.73dB
3	**다중경로 손실(반사계수=−1)**	$L_{GR}=-20\log\left\|2\sin\left(\pi\frac{r_1+r_2-d}{\lambda}\right)\right\|$	**−10dB**	**−1.4dB**
4	**수신신호크기**	**−2.77[dB/°K]**	**−97.3dBm**	**−88.7dBm**
4.1	수신안테나 이득 (G_r)	6dBi	6dBi	6dBi
4.2	수신케이블 손실 (L_R)	−3dB	−3dB	−3dB
5	**총시스템잡음전력**	**−228.6[dB/°K·Hz]**	**−123.9dBm**	**−123.9dBm**
5.1	외부잡음지수(F_{ex})	10dB		
5.2	수신기 잡음지수 (F_{RECV})	10dB		
5.3	수신단 시스템잡음온도	$T_0\{[F_{ex}+(L_R-1)]/L_R+(F_{RECV}-1)\}$	34.5dBK	34.5dBK
5.4	볼쯔만상수(k)	−228.6[dB/K·Hz]	−198.6[dBm/K·Hz]	−198.6[dBm/K·Hz]
5.5	심볼대역폭	10.5KHz	40.2	40.2
6	**요구 E_s/N_0**		**21.8dB**	**21.8dB**
6.1	Theory E_s/N_0	E_b/N_0@10−3=13, E_s/N_0=17.8	17.8dB	17.8dB
6.2	Raised Consine Filter Loss	1.8dB	1.8dB	1.8dB
6.3	수신기 구현 손실	1.2dB	1.2dB	1.2dB
6.4	송신기 구현손실	1.0dB	1.0dB	1.0dB
7	**요구수신감도**	**−102dBm**	**−102dBm**	**−102dBm**
8	**페이딩 마진(M_{link})**		**4.8**	**13.4**

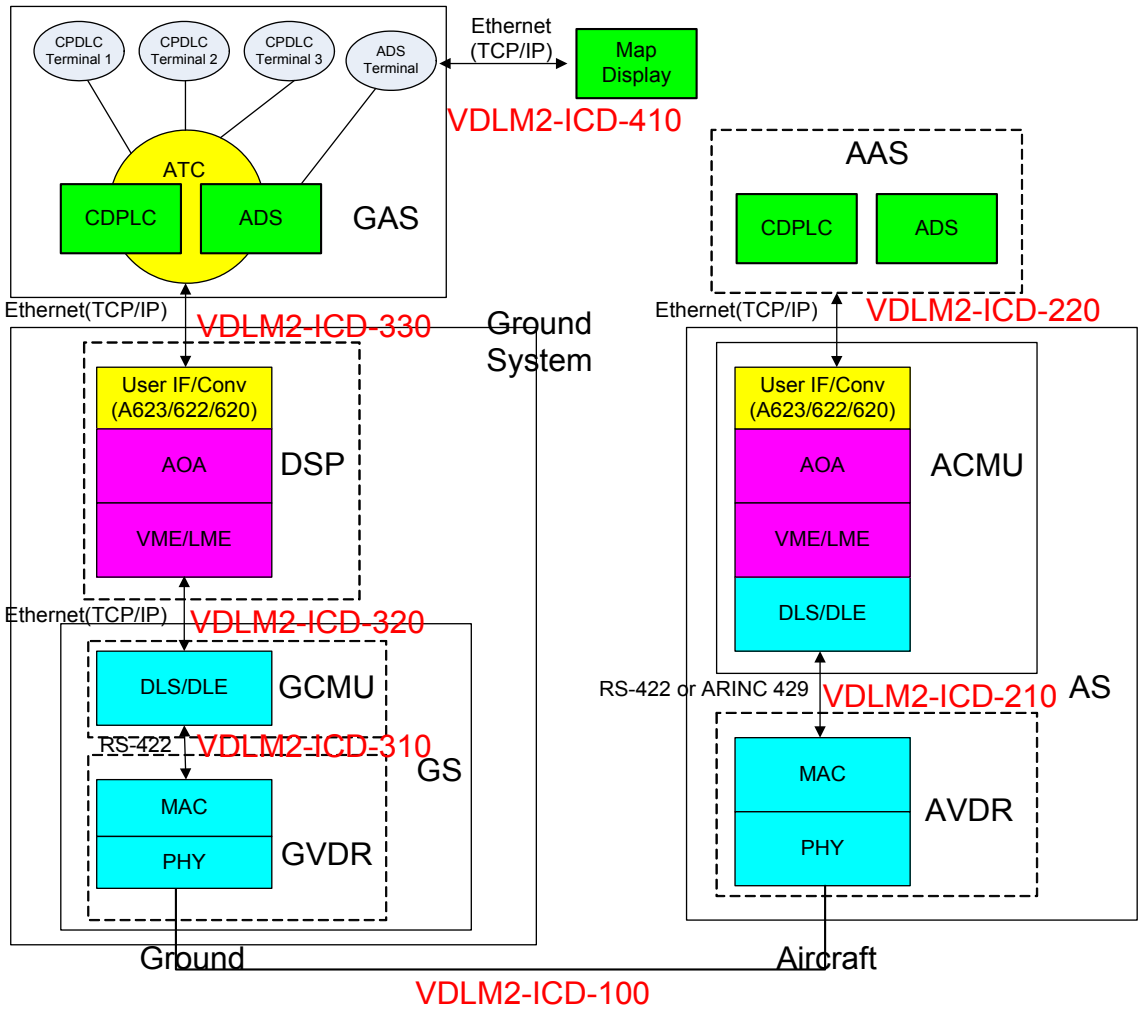
아. 시스템 구현

본 과제를 통해 개발되는 시스템은 <그림 3-2-2-26>과 같은 기능을 갖는 시스템으로 구현되며 탑재장비로는 VHF송수신기(VDR), 탑재통신관리기(CMU)와 탑

재운용시험장비(AAS : Airborne Application System)로 구성되며, 지상장비로는 지상국(GS: Ground Station), 데이터링크서비스처리기(DSP : Datalink Service Processor) 및 지상운용시험장비(GAS : Ground Application System)로 구성된다. 운용시험장비는 데이터링크를 이용한 ATS서비스의 일부 기능을 추가하여 VDL M2의 기능/성능 및 운용 시험평가에 활용된다. 운용시험장비에는 ATS 응용으로 FANS-1/A의 주요기능인 AFN, CPDLC, ADS-C기능을 구현하였다.

시스템을 구성하는 구성품간의 인터페이스는 <그림 3-2-2-26>과 같은 형상으로 상호 연결되며 인터페이스 특성은 <표 3-2-2-11>과 같다. 구현되는 구성품들의 인터페이스 형상관리를 위해 인터페이스통제서(ICD : Interface Control Document)를 작성하였으며 이를 통해 모든 구성품들이 상호호환성을 같도록 통제하고 있다. 이를 위해 작성된 인터페이스통제서는 총 7건이다. 그리고, 송수신기와 통신제어기 사이에는 ASIP(Aviation VHF Link Control Simple Interface Protocol)을 사용하는데 이에 대해서는 일반적으로 사용하는 프로토콜과 차이가 있어 살펴볼 필요가 있다.

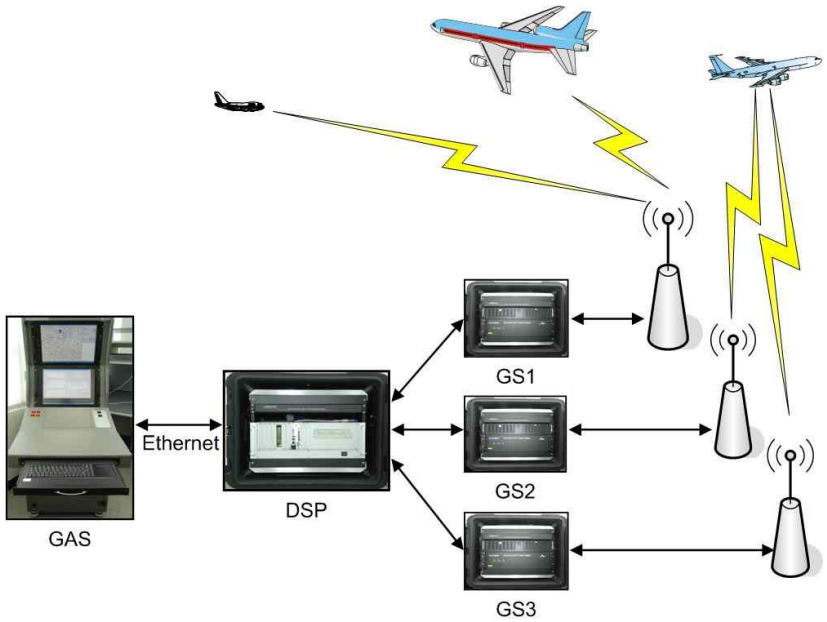
본 과제를 통해 구현된 시스템은 <그림 3-2-2-27>와 같이 다중접속 및 핸드오프 기능까지 시험을 수행하기 위하여 <그림 3-2-2-28>와 같이 탑재장비 및 지상국을 각각 3조씩 제작하였다. 그리고, 프로토콜이 국제 표준을 만족여부를 분석하기 위하여 지상 및 탑재 Test Bed로 사용될 VDL M2 시험감시장비를 구매하였으며 프로토콜 분석시험, 지상시험 등에 활용하였다. 제작된 시제품이 이 시험감시장비와 호환성을 갖는다면 하드웨어 및 프로토콜이 국제 표준을 준수하도록 개발되었음을 알 수 있다. <그림 3-2-2-29, 3-2-2-30>는 구현된 지상 및 탑재 장비의 구성품간 기능할당을 나타낸 것이다.



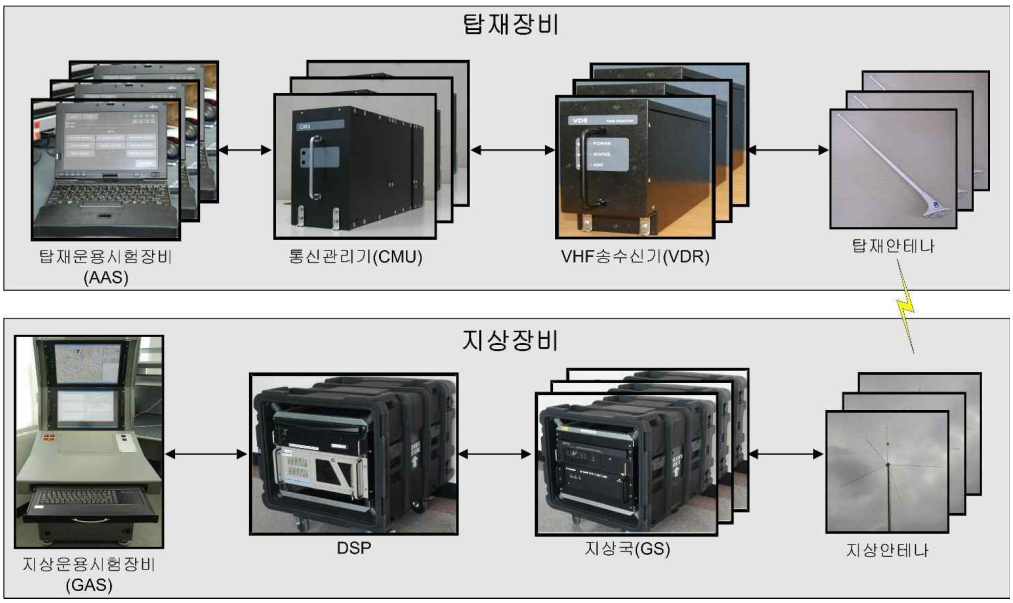
<그림 3-2-2-26> 개발장비 시스템 구성도 및 인터페이스 현황

<표 3-2-2-11> 개발장비의 구성품간 인터페이스 특징

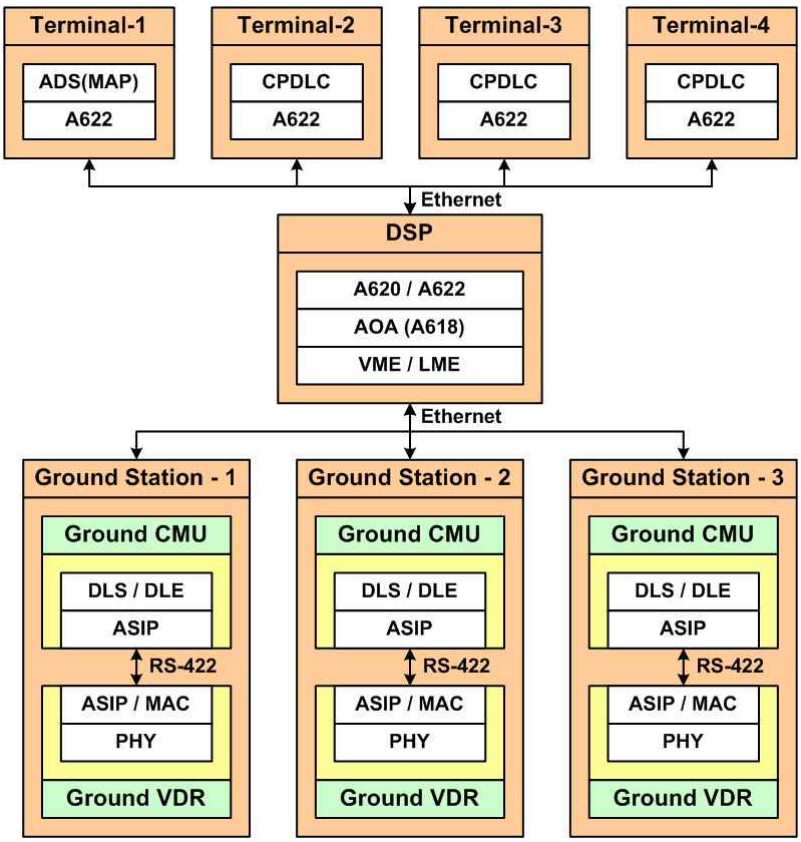
인터페이스	매체 및 특징	인터페이스 통제서 번호	프로토콜
기상장비 ↔ 지상장비	D8PSK, RF, CSMA	VDLM2-ICD-100	AVLC
탑재송수신기 ↔ 탑재통신제어기	RS422 or ARINC429	VDLM2-ICD-210	ASIP
탑재통신제어기 ↔ 탑재운용시험장비	Ethernet	VDLM2-ICD-220	TCP/IP
지상송수신기 ↔ 지상통신제어기	RS422	VDLM2-ICD-310	ASIP
지상통신제어기 ↔ DSP	Ethernet	VDLM2-ICD-320	TCP/IP
DSP ↔ 지상운용시험장비	Ethernet	VDLM2-ICD-330	TCP/IP
지상운용시험장비 ↔ 지도현시장비	Ethernet	VDLM2-ICD-410	TCP/IP



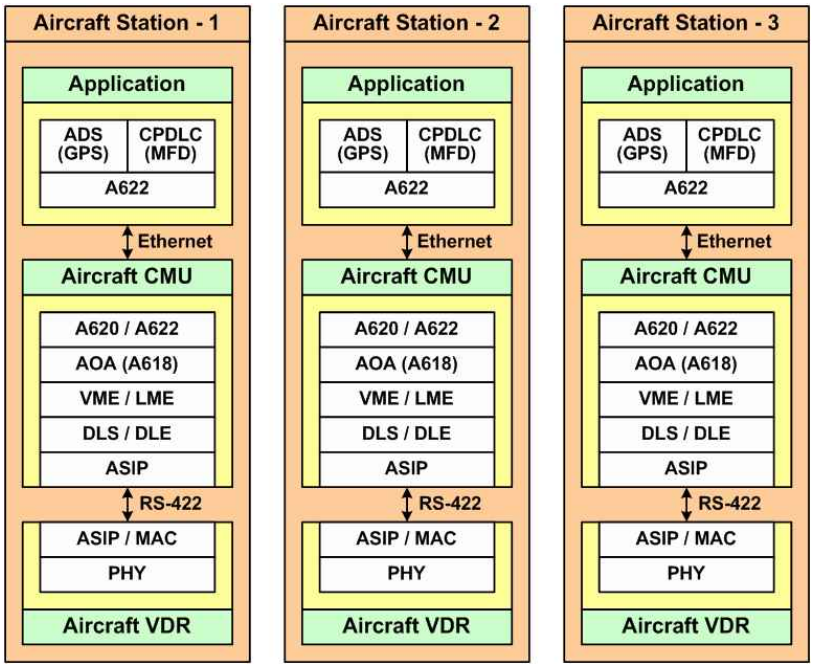
<그림 3-2-2-27> 개발장비의 운용개념도



<그림 3-2-2-28> 구현된 VDL M2 통신시스템의 구성도



<그림 3-2-2-29> 지상장비 구성품간 기능 구성도



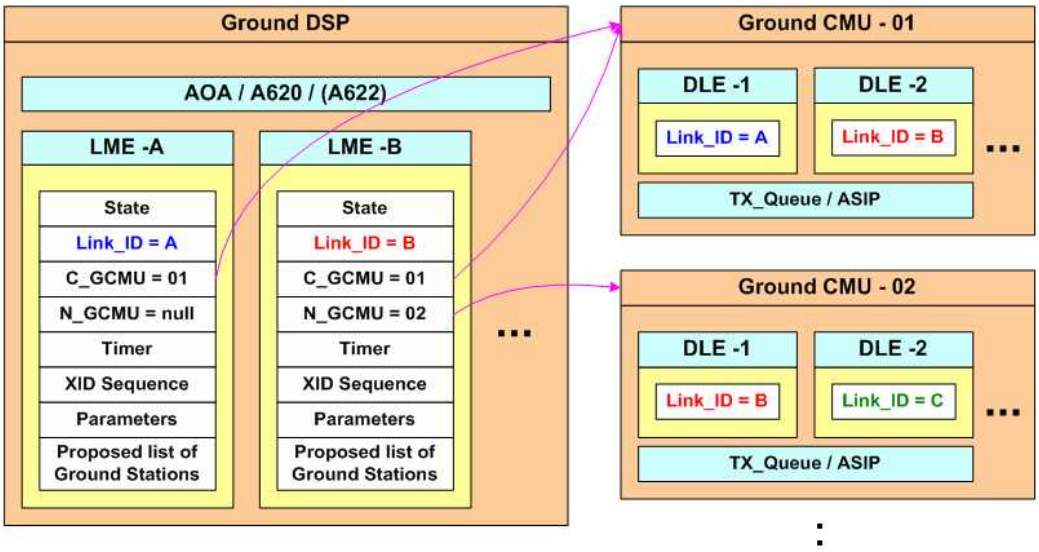
<그림 3-2-2-30> 탑재장비 구성품간 기능 구성도

제 3 절 VDL M2 소프트웨어 설계구현

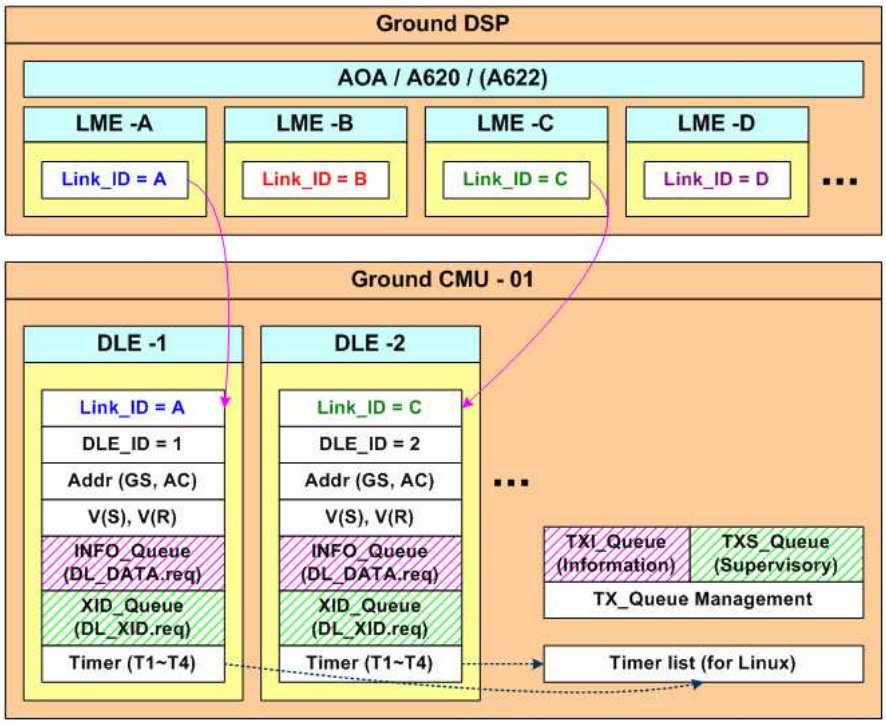
1. VDL M2 소프트웨어 개요

본 절에서 다루는 소프트웨어 설계 내용은 OSI 참조모델의 2계층과 3계층인 링크 계층과 서브네트워크 계층에 대한 내용을 포함하는 것으로, 물리계층과 서브네트워크 상위계층의 내용은 포함되지 않는다. 이 계층에 포함되는 개체는 매체접근제어, 전송 큐, 데이터링크 서브시스템, 링크제어, 링크 관리, 서브네트워크 제어가 있다. 본 기본설계 보고서에서는 각 개체간의 소프트웨어 기능 흐름도를 설계하고, 각 개체의 주요 기능에 대한 순서도를 작성하였다. 또한, 개체별 프리미티브와 파라미터에 대한 정의를 통해 코딩에 필요한 요소를 정의하였다. 본 설계 내용에 따라 DO-281A 규정에 따른 주요 파라미터에 대한 시험 절차를 분석하였다.

VDL M2 소프트웨어는 항공기 CMU, VDR, 지상 DSP, GS, VDR에 장입된 소프트웨어 그룹을 포괄한다. 항공기 CMU는 링크 관리와 링크 통신 모두를 담당하는 통합 장비이며, 여기에는 DLS, VME 소프트웨어가 설치되어 있다. VDR의 소프트웨어로는 MAC 관련 처리 소프트웨어가 설치되어 있으며, 그 외의 VDR 알고리즘은 물리계층에서 처리되는 펌웨어로 본 설계에서는 다루지 않고, 하드웨어 부분에서 다룬다. 지상은 항공기 시스템과는 달리 DSP와 GS이라는 별도의 시스템으로 구성되는데, GS에는 DLS 소프트웨어가 설치되고, DSP에는 VME 소프트웨어가 설치된다. DSP와 GS의 통합 기능은 항공기의 CMU 기능을 포함하지만 동일하지는 않다. 지상에서는 ACARS 또는 ATN 망에 접속하기 위한 프로토콜이 별도로 구성되어 있으며, 항공기가 하나의 지상 시스템과 연결되는 것과는 달리 하나의 지상국 또는 지상 시스템이 여러 항공기와 동시에 통신할 수 있다. <그림 3-3-1-1>과 <그림 3-3-1-2>는 지상 DSP와 GS의 소프트웨어 구조를 보인 것이다.



<그림 3-3-1-1> 지상 DSP 소프트웨어 구조



<그림 3-3-1-2> GS 소프트웨어 구조

2. 소프트웨어 기본 설계

가. 계층별 기능 구성

VDL 모드 2 (이하 VDL M2) 시스템은 항공기와 지상국 사용자 사이의 데이터 통신 연결을 제공한다. VDL M2 시스템은 항공종합통신망(ATN)의 여러 서브네트워크 중 하나로 설계되었으며 국제표준화기구(ISO)가 정한 Open System Interconnection (OSI) 모델에 준거하여 구성된다. VDL M2 시스템은 OSI 모델의 하부 3개 계층(layer)과 관련되어 있으며 계층별로 제공하는 서비스는 다음과 같다.

- 계층 1 (물리 계층) : 물리 계층은 송수신기 주파수 제어, 비트단위 정보 교환, 통지(notification) 기능을 제공한다. 변조방식으로 D8PSK 방식을 사용하며 31.5 kbps의 데이터 전송률을 지원한다.

- 계층 2 (링크 계층) : 링크 계층은 두개의 부계층(sublayer)과 하나의 관리개체(Management Entity)로 구분된다. 다중접속제어(MAC) 부계층은 반송파감지다중접속(CSMA) 알고리즘에 의한 물리계층 접속을 지원한다. 데이터링크서비스(DLS) 부계층은 HDLC 프로토콜에서 유도된 AVLC 프로토콜로 구성된다. AVLC 프로토콜의 주요 기능은 frame 교환, frame 처리와 에러 감지이다. 링크관리개체(LME)는 DLS 사이에서 링크 설정을 관리한다.

- 계층 3 (네트워크 계층) : VDL M2 SARPs는 네트워크 계층에서 하위 부계층에 해당하는 SNAcP 부계층만을 정의한다. SNAcP 부계층은 ATN SARPs에 정의된 서브네트워크 부계층 요구사항을 만족하며 ISO 8208 규격에 부합한다. ISO 8208은 ITU-T가 공표한 X.25 국제표준의 네트워크 계층 규격이다. 패킷 교환, 에러 복구, 연결흐름제어, 패킷 분리/조합, 서브네트워크 연결 관리 기능을 제공한다.

ATN 망 연결을 위해 계층 3의 서브네트워크 계층까지를 VDL M2에 포함하기도 하지만, 현재 본 설계에서는 AOA를 통한 ACARS 망으로의 연결을 고려하고 있어 계층 3에 대해서는 상세설계에서는 제외되었다. 3개의 계층 중 VDL M2의 핵심은 2계층인 링크 계층이다. 링크 계층은 하나의 network entity 로부터 다른 network entity로까지의 정보전송에 대한 역할을 수행한다. 이 과정에서 다음과 같은 error control 및 서비스를 제공한다.

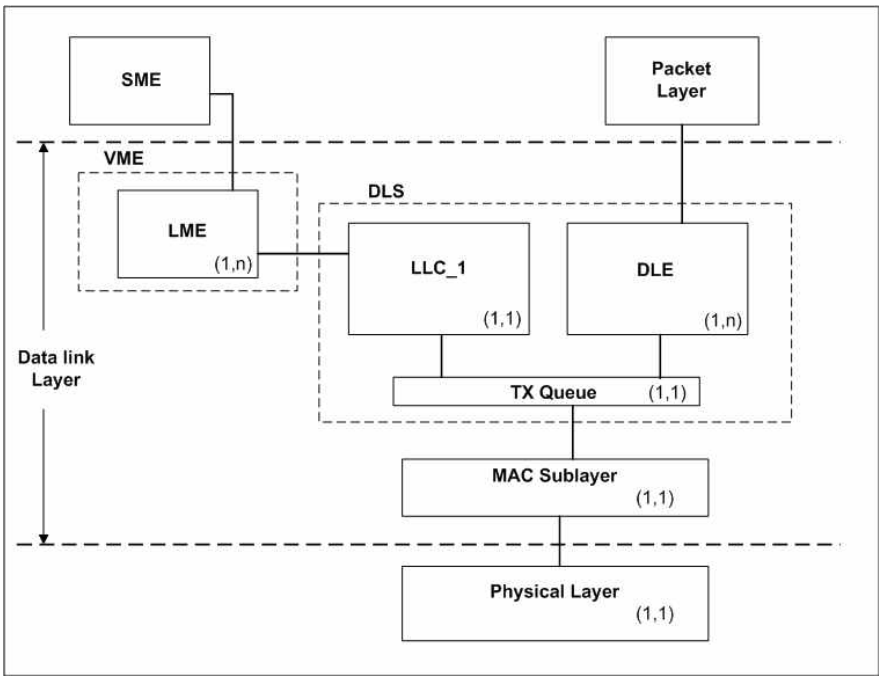
- 송수신 frame 의 분해 및 재조합

- frame 의 동기화
- 비정상 frame 의 거절
- frame error 의 탐지및 조정
- RF 채널의 선택
- 주소의 인식
- 응답 없는 수신단에 대한 초기화
- frame check sequence (FCS) 생성

링크 layer 는 크게 다음의 하부 layer 로 구성되어 있다.

- 매체 접근 제어 (MAC) 부계층
- 데이터 링크 서비스 (DLS) 부계층
- VDL 관리 개체 (VME)

Data 링크 계층은 <그림 3-3-2-1>과 같이 계층적 구조를 따르고 있다.



<그림 3-3-2-1> Data 링크 계층에 대한 전체 개요도

나. 항공기 시스템 구성

항공기 시스템은 CMU의 작동이 시작됨과 동시에 VME 소프트웨어와 DLS 소프트웨어가 시작된다. VME 소프트웨어와 DLS 소프트웨어는 별도로 분리된 장치처럼 작동하며, 내부 소켓을 이용한 통신 방식을 사용한다. VDL M2 서비스 지역에서 항공기 VME는 주파수를 CSC(Common Signaling Channel)로 설정하여 지상국에서 전송하는 GSIF를 수신하고 PECT(Peer Entity Contact Table)을 생성한다. PECT에는 지상국에 대한 정보가 저장되며, 정보로는 ICAO 주소, Ground System, 신호품질, 공항정보 등이 포함된다. 항공기는 선호도 우선순위에 따라 연결하고자 하는 지상국을 선택한다. 그런 다음 연결을 원하는 지상국으로 XID_CMD_LE(P=1)을 전송하여 링크 개설을 시도한다. 지상국으로부터 XID_RSP_LE(F=1)을 받으면 항공기 LME는 해당 링크에 대해 링크를 개설한다. 만약, XID 프레임에 전송된 파라미터를 수용할 수 없다면 DISC 프레임을 전송하여 링크 개설을 포기한다. 링크가 개설되면 항공기는 CSC 주파수에서 지상국의 주파수에 따라 주파수를 선택할 수 있는데, 현재 VDL M2에서는 CSC 주파수만이 사용 가능하다. 항공기 LME가 XID_CMD_LE(P=1)에 대한 응답을 기다리는 동안 XID 프레임이나 TEST 프레임 외의 Unicast 프레임을 수신한 경우, XID_CMD_LE 프레임을 다시 전송하여야 한다. 링크 개설 절차에 따라 링크가 개설되면 항공기 LME는 해당 링크에 대해 DLE를 생성하여 점대점 통신이 이루어지도록 한다. 링크가 생성되지 않은 단계에서는 점대점 통신이 아닌 Broadcast 통신만이 가능한데, Broadcast 통신에서도 수신자를 지정하여 특정 지상 장비만으로도 데이터 전송이 가능하다. 항공기는 링크 핸드오프시에만 두 개의 DLE를 가질 수 있고, 그 외의 경우에는 하나의 지상국과의 통신만이 가능하므로 하나의 DLE만 가진다.

링크가 생성되면 생성된 DLE를 이용하여 사용자 데이터를 전송할 수 있다. LME에서 사용자 데이터를 DL_DATA.req 프리미티브에 실어 보내면 DLE는 프리미티브에서 사용자 데이터를 추출하여 AVLC 프레임을 형성하여 UNITDATA.req 프리미티브에 실어 VDR로 전송한다. DLE는 서브네트워크 계층으로부터 수신되는 사용자 데이터 이외에도 링크상의 제어를 위한 여러 프레임을 생성할 수 있다. 이와 같이 생성된 프레임은 INFO, RR, SREJ, FRMR 등으로 구분되는데, 모든 프레

임은 송신 큐에 저장되어 순서대로 처리된다. 큐에 저장된 후 일정시간 데이터 전송이 이루어지지 않으면 해당 프레임은 재전송 알고리즘에 의해 재전송 요청되며, 일정 재전송 횟수를 초과하면 해당 링크를 더 이상 사용할 수 없음을 인지하여 항공기 LME는 핸드오프를 시도한다. 핸드오프 동안에 LME는 두 개의 DLE를 관장하게 되는데 각각은 이전의 지상국과 새롭게 연결을 시도하는 지상국으로 구성된다. 핸드오프가 완료된 후에 일정 시간동안 두 개의 링크를 유지하며, 일정시간이 지나고 나면 이전의 링크는 삭제된다.

항공기 LME가 시도하는 핸드오프에는 aircraft initiated 핸드오프와 aircraft requested ground initiated 핸드오프의 두 가지가 있는데, aircraft initiated 핸드오프는 항공기에서 XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 링크를 변경할 것을 요청하는 것으로, 지상국에서는 해당 핸드오프를 수용하기로 결정하면 XID_RSP_HO(F=1) 응답을 보낸다. aircraft requested ground initiated 핸드오프는 지상국에서 핸드오프를 개시할 것을 요청하는 것으로 항공기 LME는 XID_CMD_HO(P=0)을 보내고, 이를 수용하는 지상국은 XID_CMD_HO(P=1)을 보내 핸드오프를 개시한다. 핸드오프 파라미터 등을 수용가능하면 항공기 LME에서는 XID_RSP_HO(F=1)을 송신하여 링크를 개설한다.

다. 지상 시스템 구성

지상 시스템은 링크 관리를 총괄하는 서비스 제공자에 해당되는 지상 DSP와 중계기에 해당하는 지상국으로 구성된다. 지상 DSP는 링크의 설립, 데이터 전송, 링크의 삭제에 이르는 모든 링크 관리와 데이터 전송을 총괄하며 지상국은 DSP에 의해 설립된 링크를 바탕으로 데이터를 송수신하는 기능을 담당한다. 보편적으로 서비스 제공자인 DSP는 전체 네트워크에 대해 하나만 존재하며, 수십에서 수백개의 지상국을 네트워크를 통해 제어한다. 현재의 망 구조는 ACARS 기반으로 이루어져 있는데, 향후에는 ATN망 또는 TCP/IP 망으로 대체될 계획이다.

지상 시스템은 DSP와 지상국이 별도로 동작한다. DSP는 VME 소프트웨어가 포함되어 있는데, 이는 각 지상국에 파라미터를 설정하고 링크를 통해 데이터를 전송할 것을 요청한다. 지상국에는 DLS 소프트웨어가 포함되어 있는데, DLS는 링크별로 DLE를 생성하여 항공기와의 통신을 관할한다. DSP는 각 지상국에 주기적으

로 GSIF를 보낼 것을 요청한다. GSIF 프레임은 CSC 채널을 통해 전송되는데, 여기에는 지상국에서 설정하고 있는 기본적인 파라미터 정보가 포함되어 있다. GSIF 프레임을 수신한 항공기로부터 링크 개설 요청(XID_CMD_LE(P=1))이 수신되면 지상국은 XID 프레임에 포함되어 있는 파라미터 값들로부터 링크 개설 가능성을 판단하여, 개설을 수용하는 경우XID_RSP_LE(F=1) 프레임을 보내어 링크를 개설한다. 링크 개설이 불가능한 경우에 지상국 LME는 XID_RSP_LCR(F=1)을 보내어 링크 설립을 거절한다. 링크 개설 절차에 따라 링크가 개설되면 지상국 LME는 해당 링크에 대한 DLE를 생성하여 해당 링크를 통한 점대점 통신이 이루어지도록 한다. 지상국에서는 연결하고 있는 항공기 수에 따라 DLE를 가지며, connectionless 통신을 제공하는 LLC_1 기능은 DLS에 포함되어 있다.

개설된 링크를 이용한 데이터 전송 개념은 항공기와 지상국이 동일하다. 항공기와 지상국의 차이점은 항공기에서 전송하는 데이터 및 항공기에 대한 정보는 지상국이 포함된 지상시스템 내에서 공유가 가능하다는 것이다. 지상국은 ATN이라고 하는 하나의 지상시스템 네트워크에 연결되어 있기 때문에, 링크 개설, 핸드오프, 데이터 전송에 있어서 지상국간 모든 데이터 공유가 가능한 것이다. 따라서, 핸드오프 시의 절차에서도 약간의 차이가 있다. 지상국 LME에서 시도하는 핸드오프 역시 항공기와 마찬가지로 기본적인 두 가지 방식인 ground initiated 핸드오프와 ground requested aircraft initiated 핸드오프의 두 가지가 있으며, ground requested broadcast 핸드오프라는 특별한 모드를 지원한다. 우선, ground initiated 핸드오프는 지상국에서 XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 링크를 변경할 것을 요청하는 것으로, 항공기에서는 해당 핸드오프를 수용하기로 결정하면 XID_RSP_HO(F=1) 응답을 보낸다. ground requested aircraft initiated 핸드오프는 항공기에서 핸드오프를 개시할 것을 요청하는 것으로 지상국 LME는 XID_CMD_HO(P=0)을 보내고, 이를 수용하는 항공기는 XID_CMD_HO(P=1)을 보내 핸드오프를 개시한다. 핸드오프 파라미터가 수용가능하면 지상국 LME에서는 XID_RSP_HO(F=1)을 송신하여야 한다. Ground requested broadcast 핸드오프는 이를 지원하는 모든 항공기에 broadcast connection 파라미터를 포함한 XID_CMD_HO(P=0)을 전송하여, 이를 수신한 모든 항공기는 Broadcast connection 파라미터에 자신의 주소가 있는지를 확인하여 링크 복구 절차를 수행하여야 한다. 확인 후 예전링크는 즉시 종료되어야 한다. 현재 DO-224B 규격에 따르면

requested 핸드오프와 broadcast 핸드오프는 강제사항은 아니며, initiated 핸드오프만이 강제사항으로 규정되어 있다.

라. 기능 흐름도

소프트웨어 기본 설계에서는 소프트웨어 전체에 대한 기능 흐름도를 설계 하였으며, 이를 지속적으로 수정 보완하여 최종적인 기능 흐름도를 완료하였다. 기능 흐름도는 <그림 3-3-2-2>와 같다. 소프트웨어 설계에 있어서 개체는 0번이 물리계층, 1번이 MAC 부계층, 2번이 DLS 부계층, 3번이 VME 개체로 설정되었으며, 각 개체에 따른 주요 기능을 기능 블록으로 생성하였다. 기능 블록내에는 여러 함수가 포함되어 있으며, 함수별 순서도는 상세설계에서 다룬다. 기능 블록간 데이터의 흐름은 프리미티브로 정의되며, ICAO Technical Manual Doc9776에 명시된 프리미티브를 기준으로 하여 수정 보완되었다. 소프트웨어 개발에 있어서 DLS와 VME가 주된 영역인데, 기능 흐름도에서 VME에 대한 기능 블록은 생략되어 있다. 이는 VME의 주요 기능은 외부에서 발생되는 입력(또는 이벤트)에 의해 동작이 취해지는 event-driven 방식을 사용하기 때문이다. DLS는 이와 달리 자체적인 타이머와 순환에 의해 지속적으로 관리되는 방식을 사용하고 있다.

마. 프리미티브 및 파라미터 정의

(1) MAC 계층 프리미티브와 파라미터 정의

(가) 프리미티브

○ PH_IDLE.ind

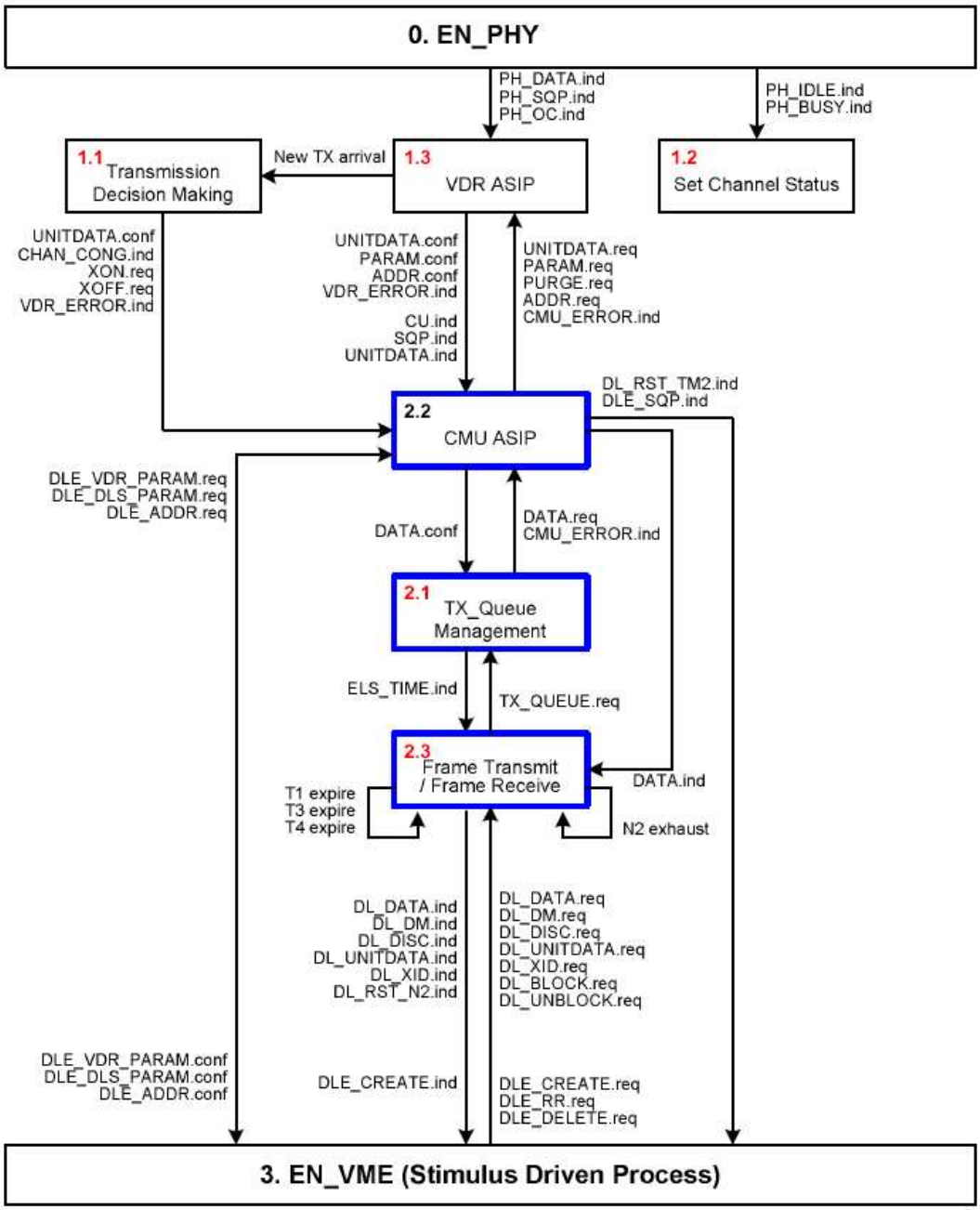
- 채널 상태가 BUSY에서 IDLE로 바뀔 때 물리 계층에서 MAC 부계층으로 전송되는 프리미티브로, 파라미터는 없다.

○ PH_BUSY.ind

- 채널 상태가 IDLE에서 BUSY로 바뀔 때 물리 계층에서 MAC으로 전송되는 프리미티브로, 파라미터는 없다.

○ MA_RTS.req

- 채널 사용을 위해 TX_QUEUE 개체가 MAC에 전송하는 프리미티브로 파라미터는 없다.



<그림 3-3-2-2> Function Flow Diagram

○ MA_CTS.ind

- MA_RTS.req 요청에 대해 MAC에서 TX_QUEUE로 전송을 허가하는 프

리미티브로 파라미터는 없다.

○ MA_EVENT_TM2.ind

- TM2가 만료되었을 때 채널 폭주를 알리는 프리미티브로, MAC에서 TX_QUEUE로 전달되며, 채널이 폭주상태이니 이를 해결하기 위한 복구 메커니즘이 가동되어야 함을 알린다.

(나) 파라미터

○ Timer TM1 (Inter-access Delay Timer)

- 접속 실패(access failure)후 재시도할 때까지의 지연 시간이다. 즉, 채널 접근 실패 후 바로 채널을 접속을 시도하지 않고 TM1 시간동안 기다린 후 재접속을 시도한다.

○ Timer TM2 (Channel Busy Timer)

- 전송요청을 받은 후 최대 기다릴 수 있는 시간이다. TX_QUE로부터 프레임의 전송요청을 받은 순간부터 가동되며, TM2가 만료되면 채널이 폭주상태이므로 전송이 불가능하다고 판단하여 상위 계층에 TM2 만료 프리미티브를 전송한다. TM2 타이머에 의해 전송요청이 MAC의 버퍼에 무한정 쌓이는 것을 방지한다.

○ 파라미터 p (Persistence)

- 채널이 비어있을 때 즉시 전송을 시도할 확률이다. MAC의 버퍼에 전송할 데이터가 있을 때, 물리 계층으로부터 PH_IDLE.ind를 받으면 p의 확률에 의해 즉시 데이터를 전송하거나, 1-p의 확률로 TM1 시간동안 대기한 후 다시 전송을 시도한다. 이는 전송대기중인 여러 station에서 채널이 비는 순간 동시에 전송을 시작하는데서 발생하는 충돌을 방지하기 위한 것으로, 각 station마다 다른 TM1 갖기 때문에 p값을 낮게 설정하면 충돌을 효과적으로 줄일 수 있다. 시스템에서 요구하는 Quality of Service에 따라 p값을 조정하여 전체 시스템의 성능을 조절할 수 있다.

○ 카운터 M1 (Maximum number of Access Attempts)

- 채널 접속을 시도하는 최대 횟수로, 채널이 비어있을 때 확률 p에 의해 대기되는 경우 카운터를 증가시켜 카운터가 M1에 도달하면 확률 p와 TM1을 무시하고 즉시 데이터를 전송한다. 이는 오랜 시간을 대기한 전송요청에 대해 우선권을 준다는 의미가 있다. 카운터는 데이터를 전송하거나 TM2가 만료되는 경우에 초기화된다.

파라미터 값과 해당 변수에 대한 정의는 <표 3-3-2-1>과 같다.

<표 3-3-2-1> MAC 파라미터

Parameters	Description	Default	Min.	Max.	Inc.
TM1	- 채널 접속 실패 후 persistent 조건 만족 후 접속을 재시도할때까지 기다려야 하는 지연시간	4.5 ms	0.5 ms	125 ms	0.5 ms
TM2	- EN_QUE 개체로부터 전송요청을 받은 후, 최대 기다릴 수 있는 시간	60 s	6 s	120 s	1 s
P	- 채널이 비어있을 때 곧바로 채널을 접속할 확률 / (1-P) 확률로 TM1만큼 기다린 후 접속을 시도함	13/256	1/256	1	1/256
M1	- 최대 접속시도 횟수	135	1	65535	1

(2) DLS 계층 프리미티브와 파라미터 정의

(가) 프리미티브

○ DL_RST_N2.ind

- DLE/LLC-1로부터 LME로 전송되는 프리미티브로 원격 장비로부터의 응답이 없음을 알린다. 응답이 없는 링크 ID가 필수 파라미터로 전송된다.

○ DL_RST_TM2.ind

- TX_QUEUE로부터 TM2 종료 프리미티브 수신시 LME로 전달되는 프리미티브로, 채널이 폭주상태임을 알린다. DLE/LLC-1은 프리미티브 전달에 앞서 채널을 리셋한다. LME는 주파수 복구 절차를 수행하여 상위 계

층에서의 일시적인 서비스 사용 중단이 발생하지 않도록 조치한다.

○ DL_RST_FRMR.ind

- DLE에서 프로토콜 에러를 감지하였을 때 LME로 전달하는 프리미티브로, DLE는 프리미티브 전달에 앞서 채널을 리셋한다. LME는 링크가 Clear된 상태이므로 데이터 손실이 발생될 수 있음을 상위 계층에 알려야 한다. 프로토콜 에러가 발생한 링크 ID를 필수 파라미터로 가지며, 에러 원인을 추가로 전달할 수 있다.

○ DL_DISC.req

- 링크를 종료하기 위해 LME에서 DLE로 전송되는 프리미티브로, DLE는 DL_DISC.req를 받는 즉시 링크를 종료한다. 종료할 링크 ID를 필수 파라미터로 가지며, 종료 이유를 추가로 전달할 수 있다.

○ DL_DISC.ind

- 원격으로부터 링크가 종료되었을 때 DLE가 LME에 전송하는 프리미티브로, DL_DISC.ind를 받으면 LME는 더 이상 해당 링크를 사용할 수 없음을 인지한다. 종료된 링크 ID와 종료 원인을 필수 파라미터로 가진다.

○ LL_DM.req

- LME에서 LLC-1으로 DM 프레임의 전송을 요청하는 프리미티브로, 링크 ID와 주소가 파라미터로 전송된다.

○ DL_DM.ind

- LLC-1에서 LME로 DM 프레임 수신을 알리는 프리미티브로, 송신측 주소가 파라미터로 전송된다.

○ DL_DATA.req

- 서브네트워크 계층에서 원격으로 데이터를 전송하기 위해 사용되는 프리미티브로, 링크 ID와 사용자 데이터를 필수 파라미터로 갖는다.

○ DL_DATA.ind

- 원격으로부터 데이터가 수신되었음을 알리기 위해 사용되는 프리미티브로, 링크 ID와 사용자 데이터를 필수 파라미터로 갖는다.

○ DL_UNITDATA.req

- 네트워크 계층에서 LLC-1으로 Broadcast 전송을 요청하는 프리미티브로, 수신측 주소와 사용자 데이터가 파라미터로 전송된다.

○ DL_UNITDATA.ind

- LLC-1에서 네트워크 계층에서 LLC-1으로 Broadcast 수신을 알리는 프리미티브로, 송신측 주소와 사용자 데이터가 파라미터로 전송된다.

○ DL_XID.req

- LME에서 LLC-1으로 XID 프레임 전송을 요청하는 프리미티브로 수신측 주소가 파라미터로 전달되며, 링크 ID를 추가로 전달할 수 있다.

○ DL_XID.ind

- LLC-1에서 LME로 XID 프레임 수신을 알리는 프리미티브로 송신측 주소가 파라미터로 전달된다.

○ DL_BLOCK.req

- 링크가 일시적으로 사용 불가능할 때 사용중단을 요청하기 위해서 서브네트워크 계층에서 DLE로 전달되는 프리미티브로 링크 ID를 파라미터로 갖는다.

○ DL_UNBLOCK.req

- 링크가 복구되어 사용가능함을 알리는 프리미티브로 서브네트워크에서 DLE로 전달되며, 링크 ID와 주소값을 파라미터로 갖는다. 주소값에 0이 들어가면 quite disconnect모드가 되는데, 이는 상대방에 DISC 프레임을 전송하지 않고 링크를 종료하는 것을 말한다.

(나) 파라미터

○ Timer T1 (Delay Before Retransmission)

- 송신한 INFO, RR(P=1), SREJ(P=1), FRMR frame에 대해 응답이 없을 경우 해당 프레임을 재전송하기까지 기다리는 timeout 시간이다. T1 시간만큼 기다린 후에도 응답이 없으면 채널에 의해 프레임이 손실되었다고 판단하고, TX_QUE에 응답을 대기하며 T1min + 2TD 시간 이상 남아있는 프레임들에 대해 재전송을 요청한다. T1은 T1min, T1max, T1exp, T1mult, 채널 사용율(u)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$T1 = T1min + 2TD_{99} + \min(U(x), T1max)$$
$$2TD = (TM1 \times M1)/(1-u)$$
$$x = T1mult \times TD \times T1exp^{retrans}$$

- 여기서 U(x) 는 uniform random 분포 함수이다. 타이머 T1은 기본적으로 INFO, RR, SREJ, FRMR 프레임 중 어느 하나다로 전송 큐에 적재되어 있으면 작동하는데, ACK 응답을 받으면 타이머는 취소된다.

○ Timer T2 (Delay Before Acknowledgement)

- 응답을 요구하는 프레임을 수신 한 후 응답을 보내기까지 지연될 수 있는 최대 시간으로, 상대방에서 T1 타이머에 의해 무리한 재전송이 발생하지 않도록 하기 위해 사용된다. 따라서 T2는 프레임을 수신한 후 처리하는데 대한 지연시간보다는 커야하고, T1 보다는 작은 값을 가져야 한다.

○ Timer T3 (링크 Initialization Time)

- (XID_RSP)를 수신할 때까지 기다리는 최대 시간이다. 링크 설정 등의 연결 초기화시 일반적인 INFO 프레임 등에 비해 많은 시간이 소요되므로, T3 값은 T1보다 크게 설정하여야 한다. T3 타이머는 T1 타이머와 동일한 방식으로 계산된다.

○ Timer T4 (Maximum Delay Between Transmissions)

- 프레임 송신간 최대 시간간격을 의미하며, 현재 링크가 유효한지를 판단하기 위해 지속적으로 일정시간간격마다 프레임을 전송하기 위함이다. 최종 데이터 수신 후 T4가 만료되면 상대방에 더 이상 보낼 데이터가 없는지를 확인하는 프레임(P=1)을 보내어 응답을 요구한다. 이 때, 송신하는 프레임은 데이터 전송 모드에 따라 다른데, ABM(Asynchronous Balanced Mode)에서는 RR 프레임을, SRM(Selective Reject Mode)에서는 SREJ 프레임을, FRM(Frame Reject Mode)에서는 FRMR 프레임을 전송한다.

- T4는 항공국과 지상국에서 그 값이 다른데, 지상국의 T4가 항공국의 T4보다 최소 2분 이상 길어야 한다. 그 이유는 지상국의 전송 전력이 매우 커서 항공국에서 프레임을 놓치는 경우는 거의 없지만, 항공국에서 전송한 프레임이 지상국에 정확히 수신되지 못할 확률이 더 크기 때문이다.

○ N1 (Maxium Number of Bits of any Frame)

- DLS에서 수용 가능한 프레임의 최대 비트수를 정의한다. 이 값은 연결 초기과정에서 XID 프레임을 통해 상호간 결정된다.

○ Counter N2 (Maximum Number of Transmissions)

- 프레임당 최대 가능한 재전송 횟수를 정의한다. 재전송을 위한 타이머 T1이 만료되어 프레임을 재전송 할 때마다 카운터가 증가되어, N2회의 재전송을 초과하면 상위계층인 LME에 DL_RST_N2.ind 프리미티브를 전송함으로써, 해당 사실을 통보하고 링크 리셋을 요청한다. 보통 지상국과 항공국은 N2 값을 다르게 설정할 수 있다.

○ k (Window size)

- NFO 프레임 전송 후 그에 대한 응답을 받기 전까지 최대로 전송 가능한 INFO 프레임의 개수를 정의한다. 만약 k=1 이라면 INFO 프레임을 전송한 후 그에 대한 응답을 받아야 다음 프레임을 보낼 수 있다. 하지만, k>1 이면, 응답을 받기 전까지 k개 프레임을 보낼 수 있고, k개 프레임이 모두 잘 전송 되었다면 마지막 k 번째 프레임에 대한 확인을 받는 것

만으로 전송 완료 확인이 가능하므로 매우 효율적이다. 하지만 k가 너무 큰 값을 가지면, 전송 에러가 발생하였을 때 이미 보낸 프레임을 전부 재전송해야 하는 비효율적인 경우가 발생할 수 있으므로, 채널 상태에 따라 적절한 k 값을 설정하는 것이 필요하다.

파라미터 값과 해당 변수에 대한 정의는 <표 3-3-2-2>와 같다.

<표 3-3-2-2> DLS 파라미터

Parameters	Description	Default	Min.	Max.	Inc.
T1min	- 각각은 타이머 T1를 실시간으로 계산하기 위해 정의된 파라미터 - T1은 INFO, RR(P=1), SREJ(P=1), FRMR 프레임 전송 후 재전송하기까지 응답을 기다리는 최대 시간	1.0 s	0 s	20 s	1 ms
T1max		15 s	1 s	20 s	1 ms
T1mult		1.45	1	2.5	0.01
T1exp		1.7	1	2.5	0.01
T2	- 응답을 요구하는 프레임을 수신한 후, 전송하기 까지 지연될 수 있는 최대 시간 - 상대 EN_DLS의 T1 타이머 만료전이어야 함.	500 ms	25 ms	10 s	1 ms
T3min	- 각각은 타이머 T3를 실시간으로 계산하기 위해 정의된 파라미터 - T3는 XID_CMD 프레임 전송 후, 이를 재전송하기까지 XID_RSP 프레임을 기다리는 최대 시간	6 s	5 s	25 s	1 ms
T3max		15 s	1 s	20 s	1 ms
T3mult		1.45	1	2.5	0.01
T3exp		1.7	1	2.5	0.01
T4	- 데이터 수신간의 최대 지연시간 - T4 만료시마다 상대방에에 더 보낼 것이 있는지를 확인하는 프레임을 보낸다. - 왼쪽 값은 Aircraft 기준이며, 지상장비는 2 min을 더한 값으로 설정해야 함.	10 min (G:12)	1440 min (G:1442)	20 min (G:22)	1 min
N1	- 프레임당 최대 비트 수	8312 bits	16504 bits	1144 bits	1 bit
N2	- 프레임당 최대 재전송가능 횟수	6	1	15	1
k	- 프레임 전송 후 ACK 가 확인되기 전까지 전송가능한 INFO 프레임의 최대 개수	4 frames	1 frame	7 frames	1 frame

(3) VME 계층 프리미티브와 파라미터 정의

(가) 프리미티브

○ LM_STARTUP.req

- SN_SME에서 LME로 전송되는 프리미티브로, LME를 활성화시킨다.

○ LM_SHUTDOWN.req

- SN_SME에서 LME로 전송되는 프리미티브로, LME를 비활성화시키고,

해당 항공-지상간 링크 연결을 비활성화시킨다.

○ LM_SVCS_AVAIL.ind

- LME에서 IS-SME로 전송되는 프리미티브로, 제공가능한 서비스 목록을 알려준다.

○ LM_SERVICE_startup.req

- IS-SME에서 LME로 전송되는 프리미티브로, LME에 특정 링크를 설립할 것을 요청하는데 LM_SVCS_AVAIL.ind에 명시된 서비스 중에서 어떤 서비스를 사용할 것인지를 명시해야 한다.

○ LM_SERVICE_shutdown.req

- IS-SME에서 LME로 전송되는 프리미티브로, LME가 설립한 특정 링크와 해당 서비스를 종료할 것을 요청한다.

○ LM_LINKUP.ind

- LME에서 VHF-SNDCF로 전송되는 프리미티브로, VDL 링크가 사용 가능하게되어 라우팅 절차가 시작될 수 있음을 알린다. ATN router NETs와 Link ID가 필수 파라미터로 전달된다.

○ LM_LINKDOWN.ind

- LME에서 VHF-SNDCF로 전송되는 프리미티브로, VDL 링크가 사용 불가능하게 되어 라우팅 종료 절차가 시작되어야 함을 알린다. Link ID가 필수 파라미터로 전달된다.

○ LM_NOEXP_CALL.ind

- LME에서 VHF-SNDCF로 전송되는 프리미티브로, 지상 시스템에서 신속(expedited) 핸드오프 처리가 불가능함을 알린다.

○ LM_EXP_CALL.ind

- LME에서 VHF-SNDCF로 전송되는 프리미티브로, 지상 시스템에서 신속(expedited) 핸드오프 처리가 가능함을 알린다.

○ LM_SUBNET.req

- LME에서 SNDCF로 전송되는 프리미티브로, XID 프레임에 포함되어 전송될 수 있는 CALL REQUEST 또는 CALL CONFIRMATION 패킷을 전달한다.

○ LM_SUBNET.ind

- LME에서 SNDCF로 전송되는 프리미티브로, XID 프레임에 포함되어 전송된 CALL REQUEST 또는 CALL CONFIRMATION 패킷을 전달한다.

(나) 파라미터

○ Timer TG1 (Maximum frequency dwell time)

- 새로운 주파수 대역에서 최소 하나의 지상국으로부터 유효한 업링크를 받기위해 머무는 최소 시간을 정의한다. 즉, 서비스되는 주파수가 무엇인지를 알기 위해서는 지원하는 몇 개의 채널(주파수대역)을 검색해야 하는데, 이때 각 채널에 TG1 만큼 머물고, TG1 동안 아무런 송수신이 발견되지 않으면 기 정의된 목록에 있는 다른 주파수 대역으로 옮겨야 한다. 타이머 TG1 은 새로운 주파수 대역으로 넘어갔을 때 시작하고, 선호하는 지상국으로부터 유효한 업링크를 받으면 타이머 TG1은 취소된다. TG1 은 LME 당 하나 존재한다.

○ Timer TG2 (Maximum Idle Activity Time)

- Tmer TG2 는 해당 링크에서 상대방으로부터 아무런 프레임의 수신 없이 그것에 대한 정보를 유지할 수 있는 최대 시간을 정의한다. TG2 타이머는 유효한 첫 번째 데이터를 수신하였을 때 시작하고, 그 이후 데이터를 받을 때마다 재시작 한다. TG2가 만료 되면, LME 는 더 이상 해당 링크가 연결되어 있지 않는다고 가정하고 연결 복구를 시도한다. LME 는 관찰하고 있는 각 대상별로 하나의 TG2 를 가지고 있다.

○ Timer TG3 (Maximum Time Between Transmissions)

- Timer TG3 는 지상국에서만 사용된다. Timer TG3 는 지상국이 작동상

태가 되고, 어떤 프레임이든 전송을 재개할 때 재시작한다. TG3 가 만료되었는데 여전히 지상국이 작동상태에 있다면, 지상국은 GSIF 프레임을 전송하고 TG3 타이머가 재시작한다.. TG3 는 100 부터 120 까지의 균일하게 분포된 임의값으로 결정된다. 보통 지상국에는 하나의 TG3 만이 존재한다. 다시 말하면, 지상국은 TG3 시간내에 프레임의 전송이 일어나지 않으면, 자신의 존재를 알리기 위해 GSIF 를 전송한다. 이렇게 하는 이유는, 장시간 지상국이 데이터 전송을 안한다면 항공기가 TG1 시간 동안 주파수 탐색을 하여 PECT를 업데이트 할 때 지상국의 존재를 모를 수 있기 때문이다.

○ Timer TG4

- TG4 역시 지상국에서만 사용된다. TG4는 GSIF 프레임 전송간 시간간격을 의미한다. GSIF를 보내고 나면 TG4 타이머는 재시작 한다. TG4가 만료되었는데 지상국이 작동하고 있다면, GSIF를 전송한다.

○ Timer TG5

- 핸드오프를 하는 동안 기존 링크를 유지하는 최대시간을 설정한다. 핸드오프를 초기화하는 LME 는 XID_RSP_HO를 받은 순간 timer TG5 를 시작시킨다. 핸드오프에 응답하는 LME 는 XID_RSP_HO 를 보내는 순간 timer TG5 를 시작한다. 핸드오프를 초기화 하는 측은 timer 를 절대 재시작 하지 않지만, 응답하는 측은 XID_RSP_HO 를 재전송하게 되면 timer 를 재시작 한다. 만약, 기존 링크 또는 새로운 링크가 완전 하지 않은 채로 끊어지면 TG5 는 취소되고 이후는 정상적인 링크만을 가지고 연결이 이루어질 것이다. timer TG5 가 만료되어야 비로소 기존연결의 절반을(한쪽방향) 조용히 끊어버린다. timer TG5 는 각 LME 당 하나가 존재한다.

VME 각 파라미터에 대한 개요와 값은 <표 3-3-2-3>에 나타나있다.

<표 3-3-2-3> VME 파라미터

Parameters	Description	Default	Min.	Max.	Inc.
TG1	- 주파수 검색을 위한 특정 주파수 최대 상주 시간 - 최초 주파수 변경시 시작 - 추파수에서 업링크 신호 발견시 취소 또는 재시작 - 만료시 다른 주파수대역으로 이동	240 s	20 s	600 s	1 s
TG2(air)	- 다른 station 으로부터 아무런 frame의 수신없이 그것에 대한 정보를 유지할 수 있는 최대시간을 정의. - 유효한 데이터를 수신시에 시작 또는 재시작 - 만료시 연결이 끊겼다고 판단, 연결 복구 시도. -관찰하고 있는 각 station 에 대응하는 TG2 가 존재.	240 s	120 s	600 s	1 s
TG2(ground)		60 min	10 min	4320 min	1 min
TG3	- ground station 에서만 존재 - 자신이 active 하고 있음을 air 에 확인시키기 위한 최대시간을 정의 - 어떤 frame 이든 전송할시 시작 또는 재시작 - 만료될시, GSIF 를 broadcast 한다	Uniform(100-120s)	100 s	120 s	0.5 s
TG4	- ground station 에서만 존재 - GSIF 전송을 위한 최대 지연시간 - GSIF 전송시 시작 또는 재시작 - 만료시 GSIF 를 전송	None	100 s	120 s	1 s
TG5(initiating)	- 핸드오프를 하는동안 기존링크를 유지하는 최대시간 정의 - 초기화 하는 LME 는 XID_RSP_HO를 받는 순간 TG5 를 시작	20 s	0 s	255 s	1 s
TG5(responding)	- 만료시 전의 링크를 끊음 - 초기화하는 쪽은 TG5 를 재시작하는경우가 없지만, 응답하는 쪽은 XID_RSP_HO를 재전송할 경우 timer 를 재시작함.	60 s	0 s	255 s	1 s

3. 소프트웨어 상세 설계

가. MAC 부계층 상세 설계

MAC 부계층의 구성 및 알고리즘은 항공기와 지상이 동일하다. MAC 부계층의 주요 알고리즘은 송신 결정(Transmission Decision Making)이다. MAC에는 전송할 프레임을 저장하는 버퍼가 있는데, 버퍼에 프레임이 수신된 후 버퍼가 비워질 때까지 해당 알고리즘을 반복해서 수행한다. MAC은 AEEC750 문서에 정의된 ASIP(AVLC Simple Interface Protocol)이라고 하는 프로토콜을 기반으로 하여 본 시스템에 맞게 수정된 인터페이스를 통해 CMU(항공기 CMU 또는 GS내의 CMU)와 통신한다. CMU에서 UNITDATA.ind을 통해 프레임 전송을 요청하면 MAC은

UNITDATA.ind 내의 데이터 부분을 획득하여 버퍼에 저장한다. MAC 버퍼는 최대 크기(16Kbits)의 프레임을 최대 7개까지 저장할 수 있다. 버퍼가 꽉 찬 상태에서 프레임이 수신되면 VDR_ERROR.ind 프리미티브를 보내어 더 이상 프레임을 수신할 수 없고, 방금 전 보낸 프레임이 버퍼에 저장되지 않았음을 알린다. 버퍼가 꽉 채워지기 전에 상위_임계치를 두어 임계치를 초과하면 XOFF.ind 프리미티브를 전송하여 프레임의 송신 중지를 요청한다. 또한, XOFF.ind 상태 또는 VDR_ERROR.ind 상태에서 버퍼가 하위_임계치 이하로 비워지면 XON.ind 프리미티브를 보내어 전송 개시를 요청한다.

버퍼에 저장된 프레임은 p-persistence CSMA 알고리즘을 통해 송신되며, 일정 시간(TM2)을 초과하여 버퍼에 저장된 프레임은 전송될 수 없고, 이 경우 CHAN_CONG.ind 을 보내어 채널이 사용 불가함을 알려야 한다. p-persistence CSMA 알고리즘과 TM2에 의해 프레임이 전송되는 과정은 부록 1의 순서도에 보였다.

CMU에서 MAC 파라미터를 변경하거나 일시적인 문제로 현재 버퍼의 내용을 삭제를 요청할 수 있다. 파라미터 변경은 PARAM.req 프리미티브를 받으면 수행되고, CMU의 요청에 의해 버퍼를 비우는 것은 PURGE.req에 의해 수행된다. PARAM.req 프리미티브를 받으면 현재 버퍼에 있는 내용을 모두 삭제하여야 한다.

(1) MAC 부계층 순서도 정의

MAC 부계층의 기능 블록은 크게 3개, Transmission Decision Making, Set Channel Status, Process VDR Primitives로 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 Primitives에서는 ASIP 인터페이스에 대한 모든 처리를 담당한다.

나. DLS 계층 상세 설계

DLS 는 bit-oriented simplex air/ground (A/G) 통신을 제공한다. 즉, 채널 접

근 및 점유는 하위계층인 MAC이 제공해주고, 이를 바탕으로 DLE를 생성하여 connection oriented point-to-point 링크를 다른 DLE와 생성하여 상위 계층에 제공한다. 따라서 DLS 는 MAC으로부터 전달받은 비트 단위의 프레임들을 재조합하고, 중복된 프레임들의 체크 등을 수행한다. MAC 이든 DLS 든 각각이 시도했던 일들이 실패했을 경우를 위한 재시도 하는 알고리즘이 포함되어 있다. MAC 은 주로 채널 접근에 대한 알고리즘이고, DLS 는 채널 접근 성공 여부에 상관없이 일단 전송해야 하는 프레임을 MAC 에 내려주면 전송이 시작된다고 판단하여 그 이후 프레임 응답 여부 등에 따라 재전송 알고리즘이다. DLS 의 주 역할을 요약하면 다음과 같다.

- Frame Sequencing - 중복된 프레임을 검사하여 중복된 프레임은 버린다.
- Error Detection - Frame Check Sequence(FCS)를 확인하여 프레임의 에러를 탐지한다.
- Station Identification - frame 의 주소를 확인하여 자신의 것만 상위 계층에 전달한다.
- Broadcast Addressing - broadcast 주소를 지원한다.
- Data Transfer - data 는 기 정의된 information field 인 VDL INFO, UI (unnumbered information), XID 프레임을 통해 전송된다.

(1) DLS 계층 순서도 정의

DLS 계층의 주요 기능은 TX_Queue Management, CMU ASIP, Frame Transmit / Frame Receive의 세 블록으로 구성된다. DLS에는 항공기-지상간 1:1 링크 통신을 담당하는 DLE 제어부와 XID 프레임, UI 프레임 등의 Broadcast Message를 담당하는 LLC_1 제어부, 전송할 프레임을 보관하였다가 ASIP를 통해 VDR에 전송하는 TX_Queue 관리부가 있다. 이 중 TX_Queue 관리부는 DLS에서 전송하는 프레임의 우선순위별 전송기능을 담당한다. DLS내에는 두 개의 전송 큐가 존재하는데, 하나는 Information 큐이고 다른 하나는 Supervisory 큐이다.

Information 큐는 INFO 프레임과 UI 프레임 정보만을 갖는다. 일반적으로 INFO 프레임과 UI 프레임에는 사용자 데이터가 포함되는데, 이 데이터는 큐에 직접 들어있지 않고, 해당 큐에 들어있는 포인터에 의해 지정된 위치에 들어있게 된다. INFO 프레임과 UI 프레임을 제외한 모든 프레임은 Supervisory 프레임으로 간주되며, Supervisory 큐는 이러한 모든 Supervisory 프레임을 저장하는 곳이다. Supervisory 프레임의 전송 우선순위가 Information 프레임보다 높기 때문에 Supervisory 큐에 전송할 프레임이 있으면 Information 큐의 프레임은 전송되지 못한다. Supervisory 큐가 비었을 때, Information 큐를 확인한다. 전송 큐에 전송할 프레임이 있다고 해서 무조건 프레임을 전송할 수 있는 것은 아니다. 앞 절에서 설명하였듯이 MAC에서 XOFF.ind 프리미티브나 VDR_ERROR.ind 프리미티브를 전송한 경우에는 프레임을 전송할 수 없다.

CMU ASIP는 DLS 측에서 ASIP 인터페이스 프리미티브를 처리하는 블록이다. CHAN_CONG.ind 프리미티브를 받으면 채널이 폭주 상태임을 알리는 자체적으로 TX_EVENT_TM2.ind 프리미티브를 발생하여 DL_RST_TM2.ind 프리미티브를 VME에 전달하도록 한다. CU.ind 프리미티브를 수신하면 채널 점유율 값을 저장하여 DLS에서 T1 또는 T3 타이머 값을 결정하는데 이용될 수 있도록 한다. UNITDATA.ind 프리미티브가 수신되면 AVLC 프레임을 추출하여 해당 DLE에 전달하고, DLE는 이를 처리하여 DL_DATA.ind 프리미티브를 VME에 전송하여야 한다. UNITDATA.ind과 함께 신호의 수신감도를 알리는 SQP.ind 프리미티브가 수신되는데, 이 값은 DL_DATA.ind과 함께 전송되어야 한다.

DLS에서 가장 중요한 기능은 프레임의 송수신 처리이다. 기본적으로 INFO 프레임을 수신하면 RR 또는 SREJ 프레임으로 응답하고, SREJ 프레임을 받으면 상대방에서 요구하는 INFO 프레임을 전송하여야 한다. XID 프레임에 대해서는 타이머 설정이나 전송 리스트 삭제 등의 과정만 수행하고, VME에 처리를 넘긴다. FRMR 프레임을 받으면 리스트 상에 보관하고 있는 모든 데이터를 삭제하고 UA 응답을 보내 링크를 리셋한다. TEST(P=1) 프레임을 수신하면 TEST(F=1)로 응답하고, TEST(F=1)을 받은 쪽에서는 더 이상 처리하지 않는다. 상세한 처리과정에 대해서는 순서도와 상태흐름표를 구성하였으며 이는 부록 1에 정리되어 있다.

(2) DLS 계층 상태 천이 표

DLS의 설계와 구현은 기본적으로 순서도를 바탕으로 작성되었다. 그럼에도 DLS 설계에 있어서 상태 천이표가 필요한 이유는 발생 가능한 입력에 대해 올바른 결과를 출력하는지를 검사할 수 있기 때문이다. DLS 상태 천이표는 Doc 9776의 Test Script를 기반으로 작성되었으며, Test Script에서 다루지 않은 항목들에 대해서 추가하고 항목들에 대해 일반화 과정을 거쳐 작성되었다. DLS에는 여러 DLE가 존재하는데, 각 DLE별 상태가 각기 다르다. 본 상태 천이표는 각 DLE에 대한 것이라고 생각하면 된다. 여기서 ADM 상태는 DLS에 존재하는 DLE중 어느 것에도 해당되지 않는 상태를 말한다. 입력에 대한 상태 표에서 'A='은 Action을 의미하는 것으로 해당 사건에 대해 처리되는 방법을 명시하고, 'S='는 상태가 어떻게 천이되는지를 나타낸다. 'S='가 표시되지 않은 항목은 상태 천이가 없고 단순한 처리만 있는 것을 의미한다. 'A=DI'로 표시된 것은 어떠한 처리도 하지 않는 Discard를 의미한다. 입력에서 밑줄 친 부분은 illegal 프레임을 의미한다. 상태 천이표의 세부 사항은 부록 1에 정리되어 있다.

다. VME 계층 상세 설계

LME는 링크 연결과 핸드오프를 담당한다. 링크 연결과 핸드오프는 탑재와 지상 장비에서 서로 다른 절차를 통해 이루어진다. 핸드오프는 그 수준에 따라서 링크 핸드오프와 서브네트워크 핸드오프로 구분된다. 링크 핸드오프는 하나의 지상시스템에 속해있는 지상국간의 핸드오프를 의미하여, 하나의 LME에서 여러 DLE를 제어하는 경우를 말한다. 서브네트워크 핸드오프는 하나의 시스템에서 두 개의 LME가 생성되어 LME간 핸드오프를 수행하는 것을 의미한다. 지상 시스템은 서비스 제공자 또는 광역 지역에 대해 한 개씩 존재하는 것으로 현재 전 세계적으로 ARINC, SITA외 몇 몇 국가들이 시범적으로 구축하여 시험하고 있다. 본 연구에서는 동일한 지상시스템 내에서의 여러 지상국간 핸드오프 기능 구현을 목적으로 하고 있어서, 기본 설계 보고서에서는 링크 핸드오프 기능에 대해서만 기술하고 있다. 링크 핸드오프와 서브네트워크 핸드오프 기능에 대한 내용은 Doc 9776 (Manual on VDL Mode2) - Part II의 다음 절을 참고하면 된다.

<표 3-3-3-1> 링크 설립과 핸드오프 과정에 대한 참조 절

Procedure	link level	subnet level
Link establishment	5.4.4.4	6.6.3.2.1 (explicit) 6.6.3.2.2 (expedited)
Air initiated handoff	5.4.4.6	6.6.3.3.1
Air requested ground initiated handoff	5.4.4.7	idem
Ground initiated handoff	5.4.4.8	idem
Ground requested air initiated handoff	5.4.4.9	idem
Ground based broadcast handoff	5.4.4.10	6.6.3.3.3
Expedited variant for handoff	5.4.4.12	6.6.3.3.2

링크 핸드오프는 핸드오프를 요청하는 주체와 개시하는 주체에 따라서 다음의 다섯 가지 방법으로 구분된다.

- aircraft-initiated handoff
- aircraft-requested ground-initiated handoff
- ground-initiated handoff
- ground-requested aircraft-initiated handoff
- aircraft-requested ground broadcast handoff

RTCA DO-224B 문서에서는 위의 핸드오프 중에서 aircraft-initiated 핸드오프와 ground-initiated handoff를 필수사항으로 규정하고 있고, 그 외의 aircraft-requested ground-initated 핸드오프, ground-requested aircraft-initiated 핸드오프와 broadcast 핸드오프는 선택사항으로 제시하고 있다. AVLC 프로토콜에서는 i비트와 bi 비트 값에 의해 aircraft-initiated 핸드오프와 broadcast 핸드오프를 지원하는 시스템과 그렇지 않은 시스템을 구분할 수 있도록 되어있다. 그러나 DO-281A 문서에 따르면 시스템의 활용성을 위해서는 다섯 가지 핸드오프 기능을 모두 포함할 것을 권고하고 있다.

<표 3-3-3-2> AVLC Specific Options Parameter Values

BIT	Name	Value	Description
1	x	x = 1	Only VDL-specific DTE addresses
		x = 0	Ground network DTE address accepted
2	v	v = 0	Expedited subnetwork connection not supported
		v = 1	Expedited subnetwork connection is supported
3	i	i = 0	Does not support initiated handoff
		i = 1	Supports initiated handoff
4	b_l	b_l = 0	Broadcast link handoff not supported
		b_l = 1	Broadcast link handoff supported
5	b_s	b_s = 0	Broadcast subnetwork connection not supported
		b_s = 1	Broadcast subnetwork connection supported
6	a	a = 0	ATN service supported and/or requested
		a = 1	ACARS over AVLC service supported and/or requested
7	Reserved	Set to 0	Reserved for future use
8	Reserved	Set to 0	Reserved for future use

본 시스템에서는 ATN 망의 접속을 고려하지 않고 있기 때문에 서브네트워크와 관련된 구현은 VME에서 제외되었다. 이를 대신하여 서비스 가능성을 보여주기 위해 AOA 기능이 VME에 추가되어 CPDLC, ADS-C, AFN 등 ATS 메시지를 처리할 수 있도록 구성되었다.

(1) VME 계층 순서도

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. 항공기와 지상국이 서로 다른 주소값을 갖고, 항공기의 주소값이 지상보다 낮은데, 이는 우선순위와 관련된다. 주소값이 낮을수록 우선순위가 높은데, 항공기의 주소값이 지상국보다 낮기 때문에 항공기의 명령이 우선순위가 높다. 예를 들면 XID_CMD_HO(P=1) 명령은 항공기와 지상에서 모두 보낼 수 있는데, 이 명령이 동시에 발생하여서 두 시스템이 모두 핸드오프 대기상태일 때 핸드오프 명령을 받았다고 하자. 이 경우, 항공기는 자신보다 낮은 우선순위인 지상국에서 보낸 명령을 무시하지만 지상국은 항공기 명령을 받는 즉시 핸드오프 요청상태를 포기하고, 항공기의 핸드오프 요청에 응답하여야 한다. 이와 같이, 항공기와 지상국에서의

VME 알고리즘은 서로 다르므로, 각각에 대해 순서도를 구성하였다. 항공기와 지상의 VME 알고리즘에 대해서는 부록 1에 정리되어 있다.

VME 계층은 DLS나 상위 사용자 프로그램에서 명령을 받으면 어떤 행동을 취하는 event-driven 방식을 취하고 있다. 따라서 순서도 역시 DLS 프리미티브의 입력 또는 사용자 입력에 따른 처리 과정을 보여준다. VME는 XID 프레임에 대한 처리와 상대방에서 오는 DATA 프레임을 상위 프로그램에 전달해주는 역할을 수행한다. XID 프레임은 P/F 비트와 h, r 비트에 따라 종류가 구분된다. 항공기인지 지상국인지에 따라서 사용가능한 XID 프레임과 사용이 불가능한 XID 프레임으로 나뉘며, 사용이 불가능한 프레임을 illegal 프레임이라고 하는데 XID 프레임의 전처리 과정에서 제거되고 상대방에 해당 프레임이 illegal 프레임이므로 XID_CMD_LCR(P=0) 프레임을 보내 거절되었음을 알린다.

(가) 항공기 VME

○ Pre-processing DL_XID.ind

- 항공기에서 지상국으로부터 수용 가능한 XID 프레임의 종류는 <표 3-3-3-3>과 같다. <표 3-3-3-3>에서 h와 r 비트는 XID 프레임의 Private 파라미터의 하나인 연결 관리(Connection Management) 파라미터 값의 일부이며, h=1이면 현재 링크가 설립되어 있는 상태임을 나타내고, r=1이면 링크 연결이 거절되었음을 나타내는 것이다. <표 3-3-3-3>에서 h와 r 비트가 정의되지 않은 GSIF 프레임과 XID_CMD_LPM(P=1) 프레임은 Private 파라미터에서 연결 관리 파라미터를 정의하지 않기 때문에 해당되지 않는다. <표 3-3-3-3>에 정의되지 않은 프레임이 수신되는 경우 시스템 오류로 판단하고, XID_CMD_LCR(P=0) 프레임에 원인 값을 illegal로 설정하여 보낸다.

<표 3-3-3-3> 항공기에서 수신 가능한 XID 프레임

구분	C/R bit	P/F bit	h, r bits
GSIF	0 (Command)	P=0	-
XID_CMD_HO	0 (Command)	P=0	h=0 / r=1
XID_CMD_LCR	0 (Command)	P=0	h=1 / r=0
XID_CMD_LPM	0 (Command)	P=1	-
XID_CMD_HO	0 (Command)	P=1	h=1 / r=0
XID_RSP_LE	1 (Response)	F=1	h=0 / r=0
XID_RSP_LCR	1 (Response)	F=1	h=0 / r=1
XID_RSP_HO	1 (Response)	F=1	h=1 / r=0

○ ADM Process

- 항공기에서 VDL M2 장비를 켠다는 것은 VDL M2 링크를 통해 지상국과 연결을 하고자 하는 것을 의미한다. 따라서 항공기에서 장비를 켜고서도 링크가 없는 상태, 즉 ADM 상태로 있는 것은 무의미하다. 또한, 항공기 조종사가 링크 설립시마다 매번 링크 설립 명령을 조작하는 것이 어렵기 때문에 본 장비는 ADM Process라는 것을 두어 항공기가 링크를 잃어버린 상태가 되면 자동으로 링크 설립을 시도하도록 하였다.

○ GSIF

- 항공기에서 GSIF 프레임을 받으면 PECT(Peer Entity Contact Table)을 생성 또는 업데이트 한다. GSIF 프레임을 수신하면 신호강도를 검사하여 다음 연결시 최우선이 될 지상국이 결정된다. 최초 연결 시도시 처음 GSIF가 수신된 장비와 연결을 시도한다.

○ XID_CMD_LCR(P=0)

- 지상에서 잘못된 명령을 전송하였을 때, 문제가 있음을 나타내는 방법으로 항공기에서는 XID_CMD_LCR(P=0)을 보낼 수 있다. LCR(Link Connection Refusal) 프레임에는 항상 링크를 거절하는 이유가 동반되어야 하는데, 그 이유가 '프로토콜 위반(Code = 81h)'이면 송수신측 모두 링크를 리셋하여야 한다. 링크 거절 사유에 대한 상세한 사항은 RTCA

DO-224B 규격서의 <표 3-21>을 참고하면 된다.

○ XID_CMD_HO(P=0)

- P비트가 0으로 설정된 핸드오프 요청은, 핸드오프를 개시해달라는 요청으로, 항공기는 이 명령을 받으면 XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 핸드오프를 개시하여야 한다. 파라미터 설정을 수용할 수 없으면 XID_CMD_LCR(P=0)을 보내고 현재링크를 유지하면 된다.

○ XID_CMD_LPM(P=1)

- 지상에서 항공기에 파라미터 변경을 요청하는 프레임이다. 항공기는 이 명령을 받으면 항공기 CMU와 VDR에 해당되는 파라미터 변경 요청을 보내고 XID_RSP_LPM(F=1)을 보내어 해당 명령을 처리하였음을 알린다. 파라미터가 변경되었는지 수용가능한지 여부는 항공기가 관여할 필요가 없다.

○ XID_CMD_HO(P=1)

- 지상에서 핸드오프를 개시한 경우이므로, 항공기는 핸드오프를 수용할 수 있으면 XID_RSP_HO(F=1)을 보내고, 핸드오프하는 지상국에 대해 새로운 링크를 설립하여야 한다. 응답하는 쪽은 상대방에서 DISC 프레임을 수신하지 않는 한 핸드오프 후 두 개의 링크를 20초간 유지하여야 한다. 핸드오프를 수용할 수 없을 때는 XID_RSP_LCR(F=1)에 원인값을 설정하여 전송한다.

○ XID_RSP_LE(F=1)

- 항공기의 XID_CMD_LE(F=1)에 대한 응답이며, 여기에는 링크 설정과 관련한 각종 파라미터가 정의되어 있다. 응답을 보낸 지상국은 이미 링크를 설립한 단계이므로, 항공기는 해당 파라미터를 수용할 수 없으면 DISC.ind 프레임을 보내어 링크를 삭제한다. 이 과정에서 DISC.ind 프레임은 링크가 있는 경우에만 설립이 가능하므로, LME는 DLE 생성 명령을 내린 후 DISC.ind을 보내고, 해당 DLE를 삭제하는 과정을 거쳐야 한다.

○ XID_RSP_LCR(F=1)

- 항공기의 링크 설립 요청이나 핸드오프 개시에 대한 지상국의 거절 응답이므로, 항공기는 링크 설립 단계 또는 핸드오프 대기 단계에서 빠져나와야 한다.

○ XID_RSP_HO(F=1)

- 항공기의 핸드오프 개시에 대한 응답이며, 여기에는 링크 설정과 관련한 각종 파라미터가 정의되어 있다. 응답을 보낸 지상국은 이미 핸드오프를 완료하여 두 개의 링크를 유지하는 상태이므로, 항공기는 해당 파라미터를 수용할 수 없으면 새로운 링크에 대한 DISC.ind 프레임을 보내어 링크를 삭제한다. 이 과정에서 DISC.ind 프레임은 링크가 있는 경우에만 설립이 가능하므로, LME는 DLE 생성 명령을 내린 후 DISC.ind을 보내고, 해당 DLE를 삭제하는 과정을 거쳐야 한다. 파라미터가 수용가능하면 TG5_initiating(60초)간 두 개의 링크를 유지하여야 한다.

○ DL_DM.ind

- 항공기가 유지하고 있는 현재 링크에 대해 지상에서는 링크가 없다는 응답을 보낸 것이므로, 항공기는 해당 링크에 대한 DLE를 삭제할 것을 요청한다.

○ DL_DISC.ind

- 지상의 요청에 의해 현재 링크를 종료하는 것이므로, 항공기는 해당 링크를 즉시 삭제하여야 한다.

○ DL_RST_N2.ind

- N2가 만료되어 현재 링크를 유지할 수 없는 상황이므로, 즉시 핸드오프를 시도하여야 한다. 즉, PECT에 있는 GS 중에서 가장 적합한 GS를 선택하여 XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 핸드오프를 개시한다.

○ TG5 expiration

- 핸드오프가 정상적으로 진행된 후 TG5가 만료되면 과거의 링크를 삭제

하여야 한다. 즉, 과거 링크에 대한 DLE 삭제 요청을 내린다.

○ DL_DATA.ind

- 데이터가 수신되면 정보만을 추출하여 상위계층에 전달한다.

(나) 지상국 VME

○ XID_CMD_LCR(P=0)

- 항공기에서 잘못된 명령을 전송하였을 때, 문제가 있음을 나타내는 방법으로 지상국에서 XID_CMD_LCR(P=0)을 보낼 수 있다. LCR(Link Connection Refusal) 프레임에는 항상 링크를 거절하는 이유가 동반되어야 하는데, 그 이유가 '프로토콜 위반(Code = 81h)'이면 송수신측 모두 링크를 리셋하여야 한다. 링크 거절 사유에 대한 상세한 사항은 RTCA DO-224B의 <표 3-4-21>을 참고하면 된다.

○ XID_CMD_HO(P=0)

- 현재 Ground-requested aircraft-initiated 핸드오프는 처리될 수 없다. DO-224B 기능상에서 XID_CMD_HO(P=0)을 받으면 XID_CMD_HO (P=1)을 보내어 핸드오프를 개시하므로, 순서도 기능에서는 작성되어 있으나, 실제 구현상에서는 사용되지 않는다.

○ XID_CMD_LE(P=1)

- 항공기의 링크 개설 요청이 수신되면, 현재 링크가 유지되고 있다고 하더라도 현재 링크를 삭제하고 새롭게 링크를 설립한다. 링크 설립을 위해서는 관련 지상국에 DLE 생성을 요청하여야 한다.

○ XID_CMD_HO(P=1)

- 지상에서 핸드오프를 개시한 경우이므로, 항공기는 핸드오프를 수용할 수 있으면 XID_RSP_HO(F=1)을 보내고, 핸드오프하는 지상국에 대해 새로운 링크를 설립하여야 한다. 응답하는 쪽은 상대방에서 DISC 프레임을 수신하지 않는 한 핸드오프 후 두 개의 링크를 20초간 유지하여야 한다.

핸드오프를 수용할 수 없을 때는 XID_RSP_LCR(F=1)에 원인값을 설정하여 전송한다.

○ XID_RSP_LPM(F=1)

- 지상의 XID_CMD_LPM(P=1)에 대한 응답이다.

○ XID_RSP_LCR(F=1)

- 지상의 핸드오프 개시에 대한 지상국의 거절 응답이므로, 항공기는 링크 설립 단계 또는 핸드오프 대기 단계에서 빠져나와야 한다.

○ XID_RSP_HO(F=1)

- 지상의 핸드오프 개시에 대한 항공기 응답이며, 여기에는 링크 설정과 관련한 각종 파라미터가 정의되어 있다. 응답을 보낸 항공기는 이미 핸드오프를 완료하여 두 개의 링크를 유지하는 상태이다. 핸드오프가 완료된 후에 TG5_initiating(60초)간 두 개의 링크를 유지하여야 한다.

○ DL_DM.ind

- 지상에서 유지하고 있는 현재 링크에 대해 항공기에서는 링크가 없다는 응답을 보낸 것이므로, 관련 지상국에 해당 링크에 대한 DLE를 삭제할 것을 요청한다.

○ DL_DISC.ind

- 항공기의 요청에 의해 현재 링크를 종료하는 것이므로, 관련 지상국에 해당 링크에 대한 DLE를 삭제할 것을 요청한다.

○ DL_RST_N2.ind

- N2가 만료되어 현재 링크를 유지할 수 없는 상황이므로, 즉시 핸드오프를 시도하여야 한다. 현재 연결하고 있는 항공기로부터 데이터를 수신하는 GS 중 가장 좋은 신호강도를 갖는 GS를 선택하여 XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 핸드오프를 개시한다.

○ TG5 expiration

- 핸드오프가 정상적으로 진행된 후 TG5가 만료되면 과거의 링크를 삭제하여야 한다. 즉, 과거 링크에 대한 DLE 삭제 요청을 내린다.

○ DL_DATA.ind

- 데이터가 수신되면 정보만을 추출하여 상위계층에 전달한다.

(2) VME 계층 상태 천이 표

VME 계층의 구현은 상태 천이 표를 바탕으로 구현되었으며, 상세한 사항에 대해서는 순서도를 참조하는 것으로 진행되었다. 따라서 VME 구현에 있어서는 상태 천이 표가 매우 상세하게 기술되어야 하고, VME내의 LME의 상태별 이벤트를 처리하는 방법이 다르므로, 이에 대한 별도의 처리 과정을 기술해야 한다. 상태 천이 표는 항공기와 지상에 대해 각각 구성되었으며, 항공기와 지상의 상태별 천이 표를 별도로 구성하였다.

항공기의 상태는 수신된 데이터에 대한 해당 링크가 없는 상태인 ADM, XID_CMD_LE(P=1)을 보내고 링크 설립을 대기중인 LE_PEND, 링크가 설립되어 정상적인 데이터를 1:1로 주고받는 ABM_SINGLE, XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 핸드오프 완료를 대기하는 HO_INIT_PEND, 핸드오프가 완료되어 두 개의 링크를 유지하는 ABM_MULT 상태가 있다. DO-224B 규격에는 HO_REQ_PEND도 명시하고 있지만 이 부분은 옵션 기능이므로 본 개발에서는 사용하지 않고, 단지 지상의 요청에 대해 처리만 가능하도록 하였다.

지상의 상태는 수신된 데이터에 대한 해당 링크가 없는 상태인 ADM, XID_CMD_LPM(P=1)을 보내어 파라미터 변경 요청에 대한 응답을 기다리는 LE_PEND, 링크가 설립되어 정상적인 데이터를 1:1로 주고받는 ABM_SINGLE, XID_CMD_HO(P=1)을 보내어 핸드오프 완료를 대기하는 HO_INIT_PEND, 핸드오프가 완료되어 두 개의 링크를 유지하는 ABM_MULT 상태가 있다.

4. 소프트웨어 구현

ACMU는 AOA, Interface/Conv, VME, DLS, TX_Queue 기능이 포함되며, CPDLC와 ACMU간의 물리적 인터페이스는 이더넷을 사용하고, ACMU와 AVDR

간의 물리적 인터페이스는 RS-422를 사용하며, VME와 DLS간의 내부 인터페이스는 이더넷 Loopback 인터페이스를 사용한다. ACMU의 운영체제는 Linux Kernel 2.6을 사용한다.

항공기 ACMU는 하나의 AVDR를 관리 하며, ground station과의 링크를 설립하고 핸드오프를 수행하며, 상위 레이어의 데이터를 ground station으로 전송하거나 하의 레이어의 데이터를 상위 레이어로 전송하는 기능을 담당하고, ACMU 및 AVDR의 내부 파라미터를 설정하고 초기화 한다.

VME는 지상과의 연결을 설정하기 위해서 먼저 가용한 주파수 대역(Frequency band)을 찾아야 한다. 찾게 되면, 이후 ground station을 식별하여 연결을 시도한다. 연결을 시도하여 링크가 구성이 되면 VME는 LME를 생성하고 DLS에게 DLE를 생성하도록 시킨다. ACMU에는 한 개의 VME가 존재하며 ground system당 한 개의 LME와 DLE를 생성하지만 핸드오프시에는 또 하나의 DLE를 생성하고 핸드오프가 종료되면 오래된 DLE는 삭제된다. VME는 TG1, TG2, TG5와 같은 타이머를 관리하며, 리눅스에서는 하나의 타이머에서 구현해야 하므로 각각의 타이머를 리스트로 관리한다.

가. VME 소프트웨어 구현

LME는 VME가 각 링크를 관리하기 위하여 생성하는 객체이며, 실체는 State, Link ID, DLE, Timer 등을 갖는 구조체이다. LME는 리스트로 관리되며 삽입, 삭제가 자유로운 동적 Double Linked List로 관리된다.

VME는 링크가 설립되면 VME내에 ground system당 한 개의 LME와 DLS에 DLE를 생성한다.

VME는 Link ID로 링크를 관리하며 ABM_single 모드에서는 하나의 LME와 하나의 DLE가 생성되지만, ABM_Mult 상태에서는 새로운 DLE가 생성이 되고 하나의 Link ID로 두 개의 DLE를 관리한다. 오래된 DLE는 TG5 타임아웃이 발생하면 삭제한다.

LME에는 TG1, TG2, TG3, TG4, TG5등 여러 타이머를 갖는다. 하지만 리눅스에서는 한 개의 process에서는 한 개의 타이머를 가지므로, 여러 타이머를 구현하기 위해서는 리스트로 관리하여야 한다. 타이머 리스트는 삽입, 삭제가 용이하도록

Double Linked List로 설계한다.

타이머 리스트 구조체는 타이머를 설정하는 LME 번호 즉, Link ID와 타이머 종류, 타임아웃 값, 그리고 포인터가 존재하며, 타임아웃 순으로 정렬을 해서 삽입한다.

타이머 세팅은 리스트의 첫 번째 타임아웃 값으로 세팅하고, 타임아웃이 발생하면, 첫 번째 리스트의 Link ID와 타이머 종류를 확인하여 해당 처리를 수행한 다음 리스트에서 삭제하고 다음 타임아웃 값으로 타이머를 설정한다.

나. DLS 소프트웨어 구현

VME가 링크 관리를 위해 LME를 생성하면, LME는 연결 설정을 위해 DLS에 DLE_CREATE.req를 보내어 해당 링크에 대한 DLE를 생성하도록 한다. 생성된 각 DLE는 DLE_Queue로 관리되며, 그 자료 구조는 다음과 같다.

- Linkd ID : 해당 링크 ID
- DLE ID : 해당 DLE ID
- S.Addr : 송신측 주소
- D.Addr : 수신측 주소
- DLE Mode : 해당 DLE의 상태
- V(S) : 다음에 송신할 프레임 번호
- V(R) : 다음에 수신할 프레임 번호
- Block Status : 링크 사용 상태
- T4_Cnt_N2 : 타이머 T4에 대한 재전송 카운터
- FRMR_Cnt_N2 : FRMR 프레임에 대한 재전송 카운터
- Cnt_K : ACK가 확인되기 전 전송 가능한 INFO 프레임의 카운터
- T1, T2, T3, T4 value : 해당 DLE의 타이머 T1, T2, T3, T4 값
- XID Queue_Addr : XID_Queue를 가리키는 포인터
- INFO Queue_Addr : INFO_Queue를 가리키는 포인터

- SREJ Queue_Addr : SREJ_Queue를 가리키는 포인터

여기에서 보면, 각 DLE마다 각각 하나씩의 INFO_Queue, SREJ_Queue, XID_Queue를 갖는다. INFO_Queue를 갖는 첫 번째 이유는 DLE가 block상태이거나, SRM, FRM상태일 때 TX_Queue에 전송하지 않고 INFO Queue에 저장해야 하기 때문이다. 두 번째 이유는 LME로부터 DL_DATA.req를 받았을 때 데이터를 저장하여 T1 타이머가 만료하기 전에 상대방으로부터 송신한 데이터에 대한 응답을 받지 못했을 경우 재전송해야 하기 때문이다. 또한 T3만료 시 해당 XID 프레임에 대해 재전송을 하기 위해 XID_Queue를 갖는다. 순서에 맞지 않는 프레임 수신 시, 이를 폐기하지 않고 SREJ_Queue에 저장한 다음 순서에 맞게 프레임을 상위계층에 전송한다.

INFO_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : INFO 프레임이 TXI_Queue에 저장된 유무를 나타내는 Flag
- Cnt_N2 : Timer T1 만료 시 해당 INFO Frame에 대한 재전송 카운터
- N(S) : INFO 프레임의 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- AVLC(INFO) Struct : INFO 프레임 포맷을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

XID_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : XID Frmae이 TXS_Queue에 저장된 유무를 나타내는 Flag
- Cnt_N2 : Timer T3 만료 시 해당 XID Frame에 대한 재전송 카운터
- N(S) : XID 프레임의 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기

DLS는 각 링크에 대한 DLE와는 별로도 DLS 전체에 대해 두 개의 TX_Queue

를 갖는다. TX_Queue는 INFO Frame에 TXI_Queue와 Supervisory Frame(RR, SREJ)과 Unnumbered Frame(XID, FRMR, DISC, DM, TEST)에 대한 TXS_Queue로 구성된다. DLE로부터 전송을 요청하는 TX_Queue.req 프리미티브를 받으면, 프레임을 확인하여 프레임이 INFO 또는 UI 프레임이면 TXI_Queue에 저장하고 Supervisory 프레임과 Unnumbered 프레임이면 TXS_Queue에 저장한다. 이때 RR, SREJ, FRMR, DM 프레임은 TXS_Queue에서 한 번만 저장되어야 하므로, TXS_Queue에 이미 해당 프레임중 하나가 저장되어 있는지를 확인해야 한다.

TXS_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : XID 프레임이 VDR로 전송된 유무를 나타내는 Flag
- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- ASIP Seq : ASIP 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- Frame Type : 해당 프레임의 타입
- AVLC Struct : 해당 프레임(Supervisory Frame, Unnumbered Frame)의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보 프레임을 TXI_Queue로 전송할 때, Timer_List를 구성한다.

LME로부터 데이터 전송 요청을 받으면 각 DLE의 INFO_Queue에 저장하고 DLS의 TXI_Queue에 전송한 후, Timer_List를 구성한다. 상대방으로부터 응답을 받으면 해당 데이터를 각 DLE의 INFO_Queue에서 삭제하고 해당 타이머를 Timer_List에서 삭제한다. Timeout 발생 시 현재 시간을 알아내고 Timer_List를 Scan하여 현재시간이 Timeout Value보다 크거나 같다면, Timer_List의 Link ID와 DLE ID의 정보를 이용하여 DLE_Queue에서 해당 DLE를 찾는다. 그런 다음, Timer_List에서 타이머 종류를 알아낸다. 타이머 종류가 T1 Timer일 경우, 해당 DLE의 INFO_Queue를 Scan하여 Timer_List의 N(S)와 INFO_Queue의 N(S)가 같은 노드를 찾은 후 TXI_Queue에 저장한다. 이때, INFO_Queue의 Cnt_N2를 증가시키고, Timeout이 발생된 노드를 Timer_List에서 삭제한다. Cnt_N2가 Parameter N2를 초과하게 되면, LME에게 DL_RST_N2.ind을 전달한다. T3 타이머인 경우, XID_Queue를 검색하면 되고, 그 이외의 사항은 T1과 동일하다.

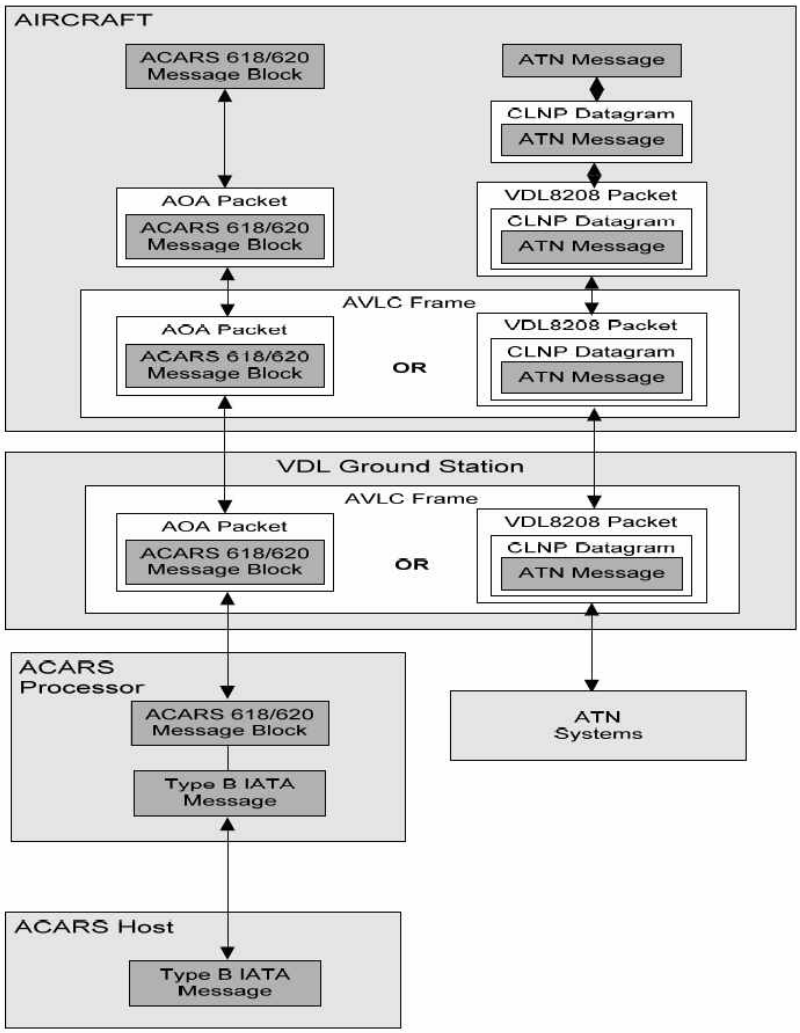
Timer_List의 자료구조는 다음과 같다.

- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- Expire Value : 타임아웃 값
- Kind of timer : Timer 종류 (T1, T3, T4)
- N(S) : INFO 프레임의 송신 순서 번호

제 4 절 AOA 및 VME & Application 인터페이스 구현

1. AOA(ACARS Over AVLC) 개요

AOA(ACARS Over AVLC)는 AVLC 상에서 ACARS 망을 지원하기위한 문자 중심 프로토콜로 <그림 3-4-1-1>과 같은 인터페이스 구조를 가진다.

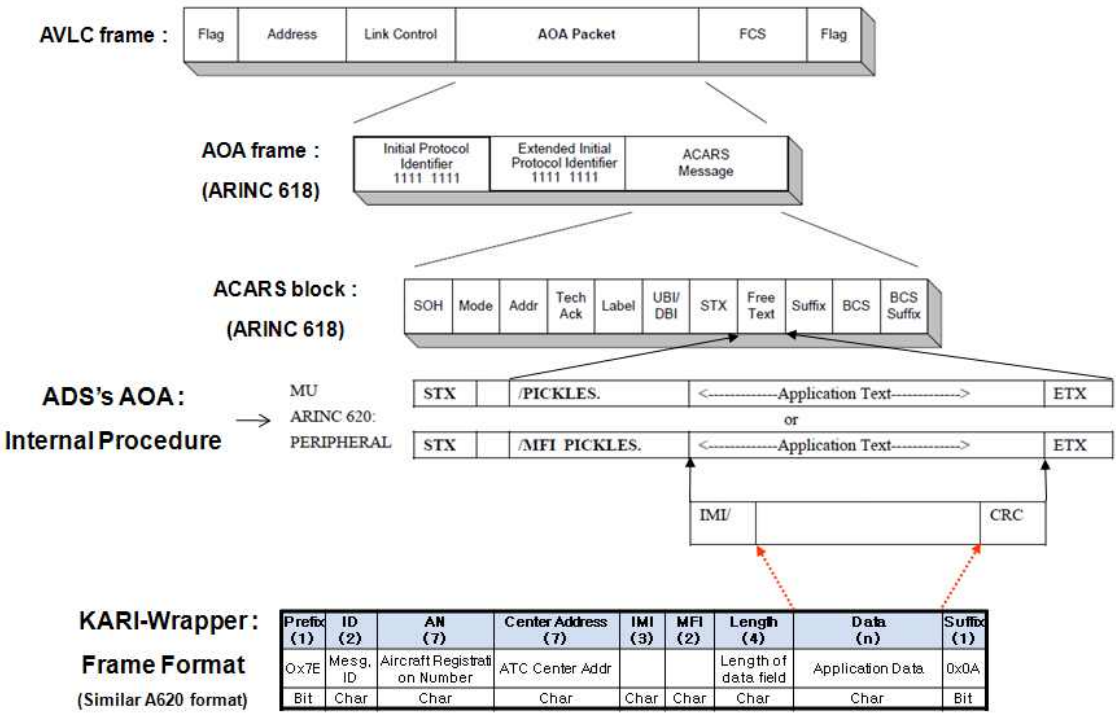


<그림 3-4-1-1> AOA Interface Block Diagram

AOA는 ACARS 호스트에서 Type B IATA 메시지가 생성되고 이 메시지를 ARINC 620 메시지로 변환하고 다시 AOA 패킷으로 변환하여, 이를 AVLC 프레임에 실어서 상대편 호스트로 전송하는 기본적인 형태를 따르고 있다.

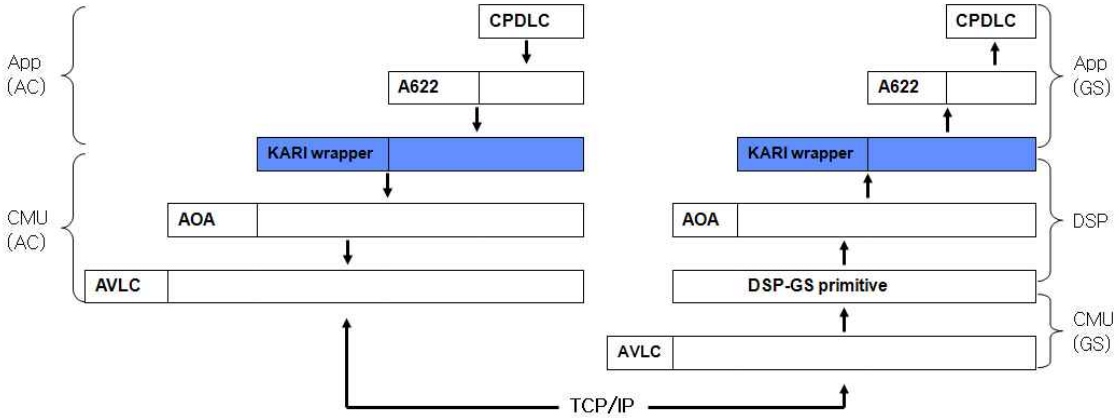
AVLC는 HDLC(High Level Data Link)의 변화된 프레임 구조 형태를 가지며,

AOA 네트워크의 기본 컨셉은 AVLC data link layer 공유하는 것으로 기본적인 AOA 패킷이 AVLC 프레임의 정보프레임(Information Frame)의 데이터로 전송된다. 본 시스템에서는 ACARS 메시지의 free text의 데이터로 KARI Wrapper에서 생성된 데이터가 삽입된다. 이 데이터는 지상/항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신된 데이터로 ARINC 622 형식을 따른다. 다음 <그림 3-4-1-2>은 AVLC frame 포맷과 AOA frame, KARI Wrapper등의 데이터 스택과 포맷에 대해서 나타냈다.



<그림 3-4-1-2> AVLC and AOA Frame Format

<그림 3-4-1-3>은 지상/항공기 탑재 운용프로그램 데이터가 AVLC frame으로 변환되는 데이터 스택에 대해서 나타낸 것으로 항공기 탑재 CPDLC 운용프로그램의 경우를 예를 들은 것이다.



<그림 3-4-1-3> CPDLC Data Stack Block Diagram

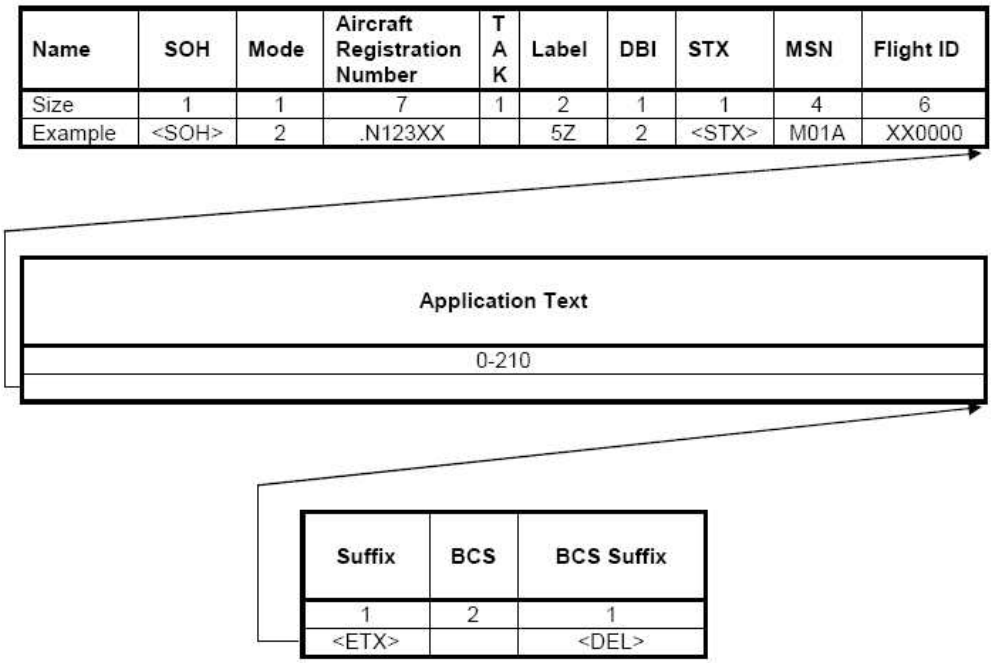
항공기 탑재 운용프로그램 데이터가 생성되면 ARINC 622 메시지 형태로 변환되고, 이 ARINC 622 메시지가 KARI Wrapper 메시지 프레임 포맷으로 변환된다. KARI Wrapper 프레임은 다시 AOA 모듈의 데이터로 변환, 전달되고 AOA 패킷은 AVLC frame의 정보프레임(Info Frame)에 실려서 지상 ATC센터로 전송된다. 지상 ATC센터에서는 역순으로 데이터가 전달된다. 지상 ATC센터에서는 수신된 AVLC frame의 정보프레임에서 DSP-GS 프리미티브들이 추출되어 AOA 모듈을 통해서 KARI Wrapper로 전달되고, KARI Wrapper는 해당 데이터를 다시 KARI Wrapper 메시지 프레임 포맷으로 변환하여 지상 CPDLC 운용프로그램으로 TCP/IP 통신을 통해서 전달한다. 지상 CPDLC 운용프로그램은 수신한 ARINC 622 메시지 형태의 데이터에서 필요로 하는 데이터를 추출 사용하는 과정을 거친다. 이와 같은 일련의 과정을 거쳐서 항공기로부터 지상 CPDLC 운용프로그램으로 전달된 데이터는 도시 장비를 통해서 관제장비 등을 통해서 데이터를 도시하게 된다. 다음은 이와 같은 데이터 송수신 과정에서 사용되는 AOA 모듈의 메시지 포맷 및 항공기에서 지상국으로의 데이터 전송인 Downlink와 지상국에서 항공기로의 데이터 전송인 Uplink에 대해서 기술한다.

가. AOA Message Format

본 절에서는 AOA 메시지 포맷에 대해서 기술한다. AOA는 multiblock ACARS message를 지원하며 마지막 block을 제외한 모든 block은 ETB 문자를

포함한다. 그리고 마지막 block은 ETX 문자 포함한다.

AOA 패킷은 uplink와 downlink로 구분되어지면 약간 다른 구조를 가진다. 각각에 대한 구조는 <그림 3-4-1-4>와 <그림 3-4-1-5>에 나타낸다.



<그림 3-4-1-4> AOA Downlink Message Format

NAME	SOH	Mode	Aircraft Registration or Flight ID	TAK	Label	UBI	STX
Size	1	1	7	1	2	1	1
Example	<SOH>	2	.N123XX	<NAK>	10	A	<STX>

Application Text
0-220

Suffix	BCS	BCS Suffix
1	2	1
<ETX>		<DEL>

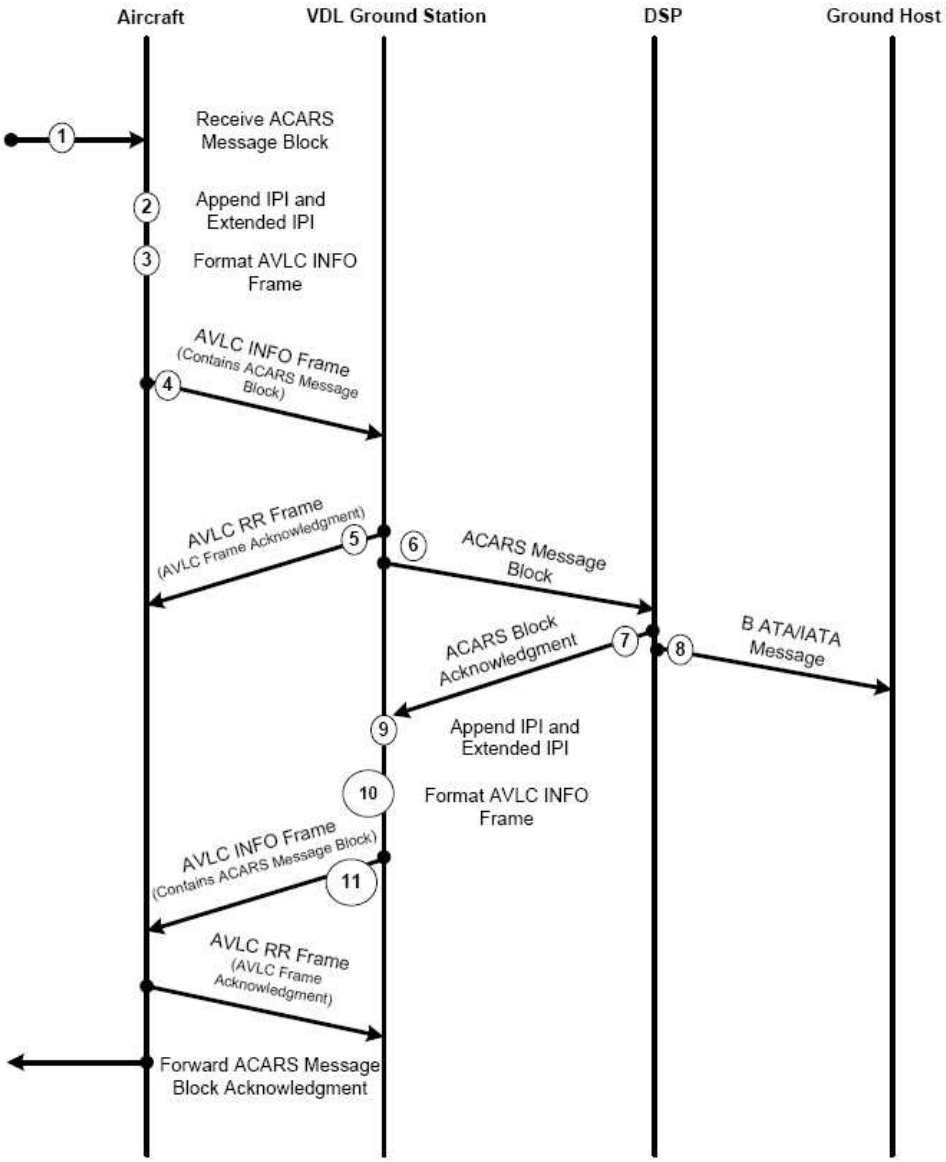
<그림 3-4-1-5> AOA Uplink Message Format

- SOH(Start Of Header) — ACARS 메시지의 시작을 나타냄
- Mode character field — 현재는 기본 값(2)만 사용되고 있다.
- AN(Aircraft Registration Number) — 항공기의 고유 주소로 항공기간 구분을 위해 사용된다
- Tech Ack — 메시지의 종류에 대해서 나타내는 라벨이다. 라벨의 종류는 ARINC 622 문서에 정의되어 있다.
- Label — 메시지의 종류에 대해서 나타내는 라벨이다. 라벨의 종류는 ARINC 622 문서에 정의되어 있다.
- UBI/DBI — Uplink/Downlink Block Identifier로 해당 메시지가 항공기로부터 지상으로의 전송메시지인 경우에는 UBI로 설정되고, 지상으로부터 항공기로의 전송메시지인 경우에는 DBI로 설정된다.
- STX(Start of Text) — 데이터의 시작을 나타낸다
- Free Text field — 실질적인 데이터를 포함하는 필드다. Free text 필드는 VDL mode 2 parameter N1이 2008보다 클 때 text field가 220보다 커질 수 있다. DSP, 항공전자장비는 N1이 더 큰 값일 때도 220 character block을 전송할 수 있도록 선택이 가능하며, 이때 DSP와 항공전자장비는 downlink block을 supersize할 필요가 없다. 즉 AOA 네트워크에서 해당 데이터를 supersize block으로 VDL mode 2 frame(16504 bits)로 분할해서 수용 가능하다. 메시지 block은 다음과 같이 2032 text characters 까지 포함 가능하다.
  * 2032 = 16504 bits / 8 - 18 header characters - 2 IPI - 11 octects AVLC header
- MSN(Message Sequence Number) — 메시지 시퀀스 순서 번호 값을 나타낸다. 메시지의 전송도중 메시지 도착순서가 바뀌어서 발생하는 에러 등을 수정하기 위한 번호이다.
- Flight ID — 항공기 구분용 ID
- Suffix — text field 의 끝을 나타낸다. 즉 데이터 블록의 끝을 나타낸다.
- BCS(Block Check Sequence) — 블록의 순서를 확인하기 위한 시퀀스 값을 가진다.
- BCS Suffix — BCS의 끝을 나타낸다.

나. AOA Downlink Process

본 절에서는 AOA의 항공기에서 지상국으로의 데이터 통신 절차에 대해서 설

명한다. <그림 3-4-1-6>은 AOA downlink process로 항공기로부터 지상국으로 다운링크블록 전송에 대해서 나타낸다. 여기서 Downlink Block은 항공기에서 지상국으로의 데이터 이동을 나타내는 AOA 네트워크에서 사용하는 용어이며, Uplink Block은 지상에서 항공으로 전달되는 데이터를 지칭한다.



<그림 3-4-1-6> AOA Downlink Process

AOA Downlink Block Process는 항공기에서 지상국으로 데이터를 전송하는 처리 단계로 다음과 같이 단계 1부터 단계13까지의 단계를 순차적으로 거쳐서 처

리된다. 이에 대해서 다음과 같이 간략히 기술한다.

- Step 1: 항공기는 VDL Mode 2를 이용하여 ground station으로 전달할 ACARS message block을 ACARS application으로부터 수신한다.
- Step 2: 수신한 데이터인 ACARS Message block에 IPI 와 Extended IPI 를 추가하여 이 block이 AOA 메시지임을 표시한다. IPI 와 Extended IPI 필드는 각각 '1111 1111' 값으로 설정되어 AOA 패킷임을 나타내게 된다. 만약 ACARS 메시지에 IPI와 EIPI 필드가 추가되지 않은 패킷을 수신하면, 즉 AOA 패킷이 아닌 메시지를 수신하면 AOA 네트워크의 패킷이 아닌 것으로 판단하여 기존의 ACARS 네트워크를 이용하여 데이터를 전송하게 된다.
- Step 3: AVLC INFO frame을 생성하는 단계이다. IPI 와 Extended IPI를 포함하는 AOA 패킷이 AVLC INFO frame의 Information (INFO) field 에 삽입하여 AVLC Info frame을 생성하는 단계이다.
- Step 4: 항공기는 AVLC INFO frame (contains ACARS Message block) 을 VDL mode 2 ground station으로 전송하고 VAT7 timer를 시작 시킨 후 다른 AVLC INFO frame을 전송하기 전에 DSP로부터 이전에 전송한 INFO 프레임에 대한 ACK 수신이 도착하기를 대기한다. 여기서 AVLC frame 의 크기는 다음과 같다.
  - 251 octets = 238octets ACARS block + 2 octets IPI field + 11 octets ACARS header field
- Step 5: VDL Ground Station은 항공기로부터 수신한 downlink AVLC INFO frame에 대한 응답으로 AVLC ACK frame (AVLC RR Frame)을 항공기로 전송한다. 그리고 AVLC Frame processing algorithm은 각 AVLC INFO frame에 대한 ACK를 요청하게 된다. 이때 AVLC 는 T2 timer를 사용(default: 500ms, ARINC 631)하게 된다. AVLC frame processing 은 AVLC ACK가 전송되기 전에 4개까지 frame의 전송이 가능하다. 단, 한 순간에 오직 한 개의 AOA 패킷 트랜잭션만 처리 가능하

다.

○ Step 6: VDL Ground Station은 ACARS Message Block을 DSP로 전송한다. Grouns station은 AVLC INFO frame을 검사하고, 정보 필드에 IPI와 extended IPI가 각각 '1111 1111'로 설정되어 있는지 확인한다. 만약 설정되어 있으면 DSP로 전송하고 그렇지 않은 경우에는 기존의 ACARS 메시지로 처리한다.

○ Step 7: DSP는 VDL Ground Station으로 ACARS block 수신 확인 메시지를 전송하고, 수신한 ACARS Message Block에 대한 응답을 보낸다.

○ Step 8: DSP는 Type-B ATA/IATA message를 Ground Host system으로 전송한다. 여기서 Type-B 는 항공기간 통신에서 store and forward 방식으로 메시지를 처리하는 방식이다. Type-B 통신은 일방향 통신으로 다중주소(Multi address) 배달 시스템을 이용하여 end-to-end 메시지 보안에 대해서 보장 가능하다. 이 주소시스템은 ATA/IATA 7 character 주소 코드와 동시에 32개까지의 목적지 주소를 포함하는 것이 가능하다.

○ Step 9: VDL Ground Station은 DSP로부터 수신한 ACARS message에 IPI 와 extended IPI의 값을 각각 “1111 1111”로 설정하여 ACARS 메시지 필드 앞부분에 추가하여 AOA 패킷임을 나타낸다.

○ Step 10: VDL Ground Station은 AVLC INFO frame을 생성, AOA packet을 AVLC info frame에 추가한다.

○ Step 11: VDL Ground Station은 AVLC INFO frame을 항공기로 전송한다. 이때 ACARS Message Block ACK 포함시킨다.

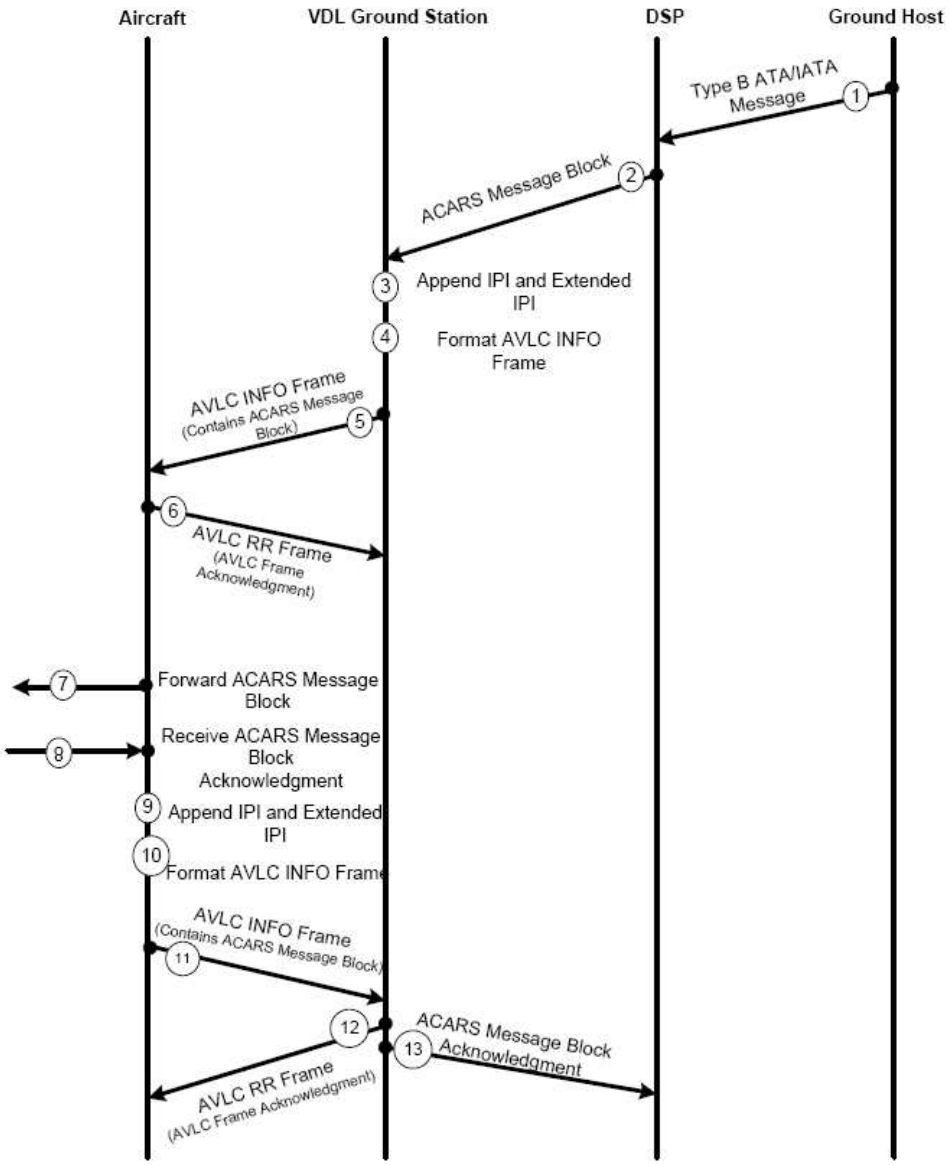
○ Step 12: 항공기는 AVLC ACK Frame을 VDL Ground Station으로 전송하고, 이전에 수신한 AVLC INFO frame에 대한 확인 응답을 한다.

○ Step 13: 항공기는 ACARS Message Block ACK를 포워드 하는 단계이다. 항공기는 VDL Ground Station으로부터 AVLC INFO frame 을 수신하면 ACARS Message Block을 포함하는지 검사하여, 만약 IPI 와 extended IPI 가 각각 “1111 1111” 로 설정되어 있으면 AOA 패킷으로 인

식하고 ACARS Block ACK를 포워드 한다. 만약 IPI와 EIPI가 설정되어 있지 않으면 패킷을 폐기한다.

다. AOA Uplink Process

지상국으로부터 항공기로 데이터를 전송하는 AOA Uplink Process에 대해서 기술한다. <그림 3-4-1-7> 은 이에 해당하는 데이터 처리 순서도이다.



<그림 3-4-1-7> AOA Uplink Process

AOA Uplink Process는 지상센터에서 항공기로 데이터를 전송하는 처리 단계

로 단계 1부터 단계13까지의 단계를 거쳐서 처리된다. 다음은 이에 대해서 기술한다.

- Step 1: External Ground Host System은 Type-B ATA/IATA message를 DSP로 전송한다.
- Step 2: DSP는 ACARS Message Block을 VDL Ground Station으로 전송한다.
- Step 3: VDL Ground Station은 ACARS필드 앞에 AOA frame 임을 나타내기 위한 IPI 와 extended IPI를 추가하고, 각각 '1111 1111'으로 설정한다.
- Step 4: VDL Ground Station은 추가된 IPI와 EIPI를 이용하여 AVLC INFO frame을 생성한다.
- Step 5: VDL Ground Station은 생성된 AVLC INFO frame을 항공기로 전송한다.
- Step 6: 항공기는 AVLC ACK Frame을 수신하고 AVLC ACK를 포함하는 AVLC RR 프레임을 VDL Ground Station으로 전송한다.
- Step 7: 항공기는 ACARS Message Block을 항공기상의 ACARS application들에게 포워드 한다.
- Step 8: 항공기는 ACARS application으로부터 ACARS Block ACK를 수신한다.
- Step 9: 수신된 ACARS Block ACK 프레임에 IPI 와 extended IPI를 추가, 각각 “1111 1111” 로 설정한다.
- Step 10: 항공기는 생성된 IPI와 EIPI를 이용하여 AVLC INFO frame을 생성한다. 이때 ACARS Block ACK는 AVLC INFO frame의 INFO 필드에 삽입된다.
- Step 11: 항공기는 step 10에서 생성된 AVLC INFO frame에 AVLC

Block ACK를 포함 시켜서 AVLC INFO frame을 VDL Mode 2 Ground Station으로 전송한다.

- Step 12: VDL Ground Station은 AVLC ACK frame을 항공기로 전송하고 downlink AVLC INFO frame에 대한 응답을 한다.
- Step 13: VDL Ground Station은 ACARS Block ACK를 DSP로 전송한다.

2. KARI Wrapper 인터페이스 설계

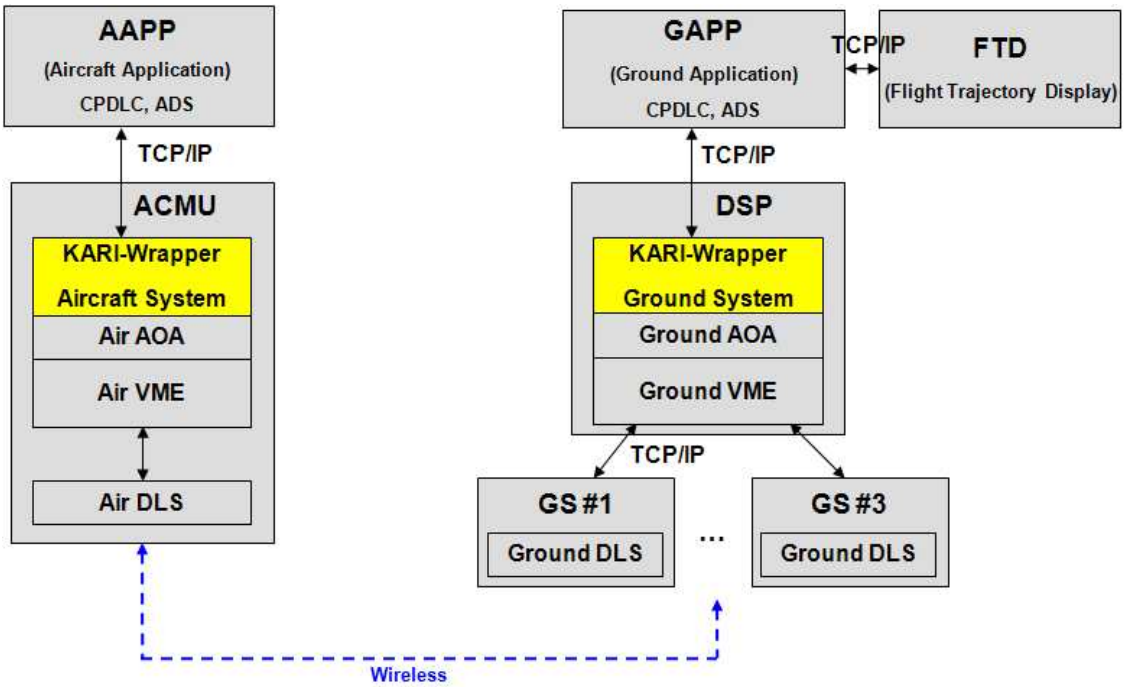
KARI Wrapper는 ADS사의 AOA 모듈과 VME 및 지상/항공기 탑재 운용프로그램간의 통신을 위한 3종류의 인터페이스 요구사항에 의해서 설계된 프로토콜이다. 본 프로토콜은 지상/항공기 탑재 운용프로그램에서 생성된 데이터를 AOA2220 모듈 데이터 형식으로 변환 전달하는 기능을 수행하며, AOA2220 모듈을 주기적으로 감시하여 AOA2220으로 부터의 수신 데이터를 감지, 본 프로토콜에서 정의한 메시지 프레임 형식에 맞게 데이터를 생성하여 VME 및 지상/항공기 탑재 운용프로그램에 TCP/IP 통신을 통하여 전달하는 기능을 수행한다.

KARI Wrapper는 크게 AOA2220 모듈을 감시 처리하는 AOA_Monitor() 기능과 지상/항공기 탑재 운용프로그램과의 데이터 통신을 처리하는 SOCKET_Monitor() 기능 그리고 VME로부터 데이터 수신을 감시하여 처리하는 recv_VME_process() 기능으로 나뉜다. AOA2220 모듈은 ADS사의 AOA 모듈로 항공기와 지상국 사용자 사이의 데이터 통신 연결 기능을 제공하며 서비스는 항공기 운용프로그램을 위한 AOA2220A 모듈과 지상 ATC센터 운용프로그램을 위한 AOA2220G 모듈로 세분화 된다.

KARI Wrapper의 역할은 지상/항공기 탑재 운용프로그램과 AOA 모듈간의 인터페이스 기능을 수행하며 또한 VME와 AOA 모듈간의 인터페이스 기능을 수행하는 것으로 지상/항공기 탑재 운용프로그램에서 각각 데이터를 생성, TCP/IP 통신을 통하여 KARI Wrapper로 전송하면, KARI Wrapper는 SOCKET_Monitor() 기능을 이용하여 TCP/IP 통신을 감시, 데이터를 수신하게 되면 수신한 데이터를 AOA2220 모듈에 적합한 데이터 형태로 변환, 변환된 데이터를 해당 AOA2220 모

듈 서비스로 전달하고, 이 데이터는 VME로 전달된다. 또한 AOA2220 모듈로부터 수신하는 데이터도 본 프로토콜에서 정의한 메시지 프레임 포맷에 맞게 생성하여 지상/항공기 탑재 운용프로그램에 TCP/IP 통신을 통하여 전송한다.

다음 가. 항과 나. 항에서는 항공기와 지상국의 AOA2220 모듈과 KARI Wrapper의 작동과정에 대해 기술하였으며, 다. 항에서는 KARI Wrapper 설계에 대해서 기술하며, 라. 항에서는 메시지 프레임 포맷에서 사용되는 프리미티브와 파라미터에 대해서 기술한다. 본 프로토콜에 따른 항공기 운용프로그램과 지상ATC 센터간의 데이터 링크 개념도는 <그림 3-4-2-1>과 같다.



<그림 3-4-2-1> KARI Wrapper와 AOA 데이터 링크에 대한 전체 개념도

가. 항공기 시스템

시스템 작동이 시작되면 AOA 링크를 연결하기 위한 선행 동작을 수행한다. AOA2220A_CREATE를 통해 AOA 링크 연결을 시도한다. 지상국 시스템과 AOA 링크가 연결되면 KARI Wrapper에서 항공기 운용프로그램으로부터의 TCP/IP 연결을 대기한다. 항공기 운용프로그램이 KARI Wrapper로 접속을 완료하면 이때부터 지상국과의 통신이 정상적으로 이루어진다. 항공기 탑재장비의 KARI Wrapper

는 항공기 운용프로그램으로부터 발생하는 CPDLC, AFN, ADS-C, ATS 데이터를 KARI Wrapper 인터페이스 메시지 포맷에 따라 데이터를 변환하고 이 데이터를 AOA2220A 모듈로 전달하는 기능을 수행한다. AOA2220A 모듈은 항공기 탑재 VDR 장비를 통해서 지상으로 데이터를 전달한다. 그리고 지상으로부터 수신되는 데이터는 탑재 VDR 장비를 통해서 수신되고 수신데이터는 AOA2220A 모듈로 전송된다. KARI Wrapper에서는 정기적으로 AOA2220A 모듈에 수신데이터가 존재하는지 검사하여 수신데이터가 존재하면 해당 데이터를 KARI Wrapper 인터페이스 메시지 포맷에 기술된 메시지 포맷에 따라 메시지 프레임을 생성하고 이 메시지 프레임을 해당하는 항공기 운용프로그램으로 전송한다.

나. 지상국 시스템

시스템의 작동이 시작되면 AOA 링크를 생성하기 위한 선행 동작을 수행한다. AOA2220G_CREATE를 통해 AOA 링크를 생성한 후 KARI Wrapper에서는 VME로 TCP/IP 연결을 수행하고, 운용프로그램으로부터의 TCP/IP 연결을 대기한다. 지상 ATC센터 운용프로그램이 KARI Wrapper로 접속을 완료하면 이때부터 항공기 시스템과의 통신이 정상적으로 이루어진다. 지상 ATC센터의 KARI Wrapper는 지상 ATC센터 운용프로그램으로부터 발생하는 CPDLC, AFN, ADS-C , ATS 데이터를 KARI Wrapper 인터페이스 메시지 포맷에 기술된 운용프로그램 인터페이스 메시지 포맷에 따라 데이터를 변환/생성하고 이 데이터를 AOA2220G 모듈로 전달하는 기능을 수행한다. AOA2220G 모듈은 지상 ATC센터 장비를 통해서 항공기로 데이터를 전송한다. 그리고 항공기로부터 수신되는 데이터는 지상 ATC센터를 통해서 수신되고 수신데이터는 AOA2220G 모듈로 전달된다. KARI Wrapper에서는 정기적으로 AOA2220G 모듈에 수신데이터가 존재하는지 검사하여 수신데이터가 존재하면 해당 데이터를 메시지 포맷에 따라 메시지 프레임을 생성하고 이 메시지 프레임을 해당하는 지상 ATC센터 운용프로그램으로 전송한다.

다. KARI Wrapper 설계

KARI Wrapper는 지상/항공기 탑재 운용프로그램과 AOA 모듈간 TCP/IP 통신을 하기 위한 프로토콜로 각각의 운용프로그램에서 생성되는 데이터를 AOA 모

듈로 변환 전송하는 기능을 수행한다. 또한 AOA 모듈로부터 수신되는 데이터를 CPDLC, AFN, ADS-C, ATS 서비스 메시지 포맷에 맞게 변환하여 지상/항공기 탑재 운용프로그램으로 전달하는 기능을 수행한다. 각각의 통신에서 필요로 하는 데이터에 따라 2가지의 메시지 프레임 포맷을 사용한다. <표 3-4-2-1>부터 <표 3-4-2-3>에 각각의 서비스에 해당하는 메시지 정의에 대해서 나타내며, <표 3-4-2-4>에서는 메시지 프레임 각각의 항목에 대하여 정의한다.

<표 3-4-2-1> AFN Message Frame Format

Filed (byte)	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Center Address (7)	Flight No (6)	ICAO ID (6)	Time (6)	Length (4)	Data (n)	Suffix (1)
Def.	0x7E	Mesg. ID	Aircraft Registration Number	ATC Center Addr	Flight Name	Upper case Hexadecimal (24bit addr)	Current Time HHMMSS	Length of data field	Application Data	0x0A
Bit/ Char	Bit	Char	Char	Char	Char	Char	Char	Char	Char	Bit

<표 3-4-2-2> CPDLC/ADS-C Message Frame Format

Filed (byte)	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Center Address (7)	Length (4)	Data (n)	Suffix (1)
Def.	0x7E	Mesg. ID	Aircraft Registration Number	ATC Center Addr	Length of data field	Application Data	0x0A
Bit/ Char	Bit	Char	Char	Char	Char	Char	Bit

<표 3-4-2-3> ATS Message Frame Format

Filed (byte)	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Center Address (7)	IMI (3)	MFI (2)	Length (4)	Data (n)	Suffix (1)
Def.	0x7E	Mesg. ID	Aircraft Registration Number	ATC Center Addr	Imbedded Message Identifier	Message Format Identifier	Length of data field	Application Data	0x0A
Bit/ Char	Bit	Char	Char	Char	Char	Char	Char	Char	Bit

<표 3-4-2-4> Message Frame Format Description

항목	정의	Byte	예시	비고
Prefix	메시지의 시작	1	0x7E	Bit
ID	해당 데이터의 종류 정의	2	B0	Char
AN	항공기 Registration Number	7	KAL1234	Char
Ctr_Addr	접속 Center Address	7	OAKXGXA	Char
Flight No	항공기 Number	6	HL7757	Char
ICAO ID	Hexadecimal 24 bit address	6	FAC114	Char
Time	전송 시간, HHMMSS	6	112512	Char
Length	Data 길이 (byte 수), 최대 0x0000	2	FFFF	Char
Data	Bit-oriented 기반 데이터	n	C6005DE9	Char
Suffix	메시지의 끝	1	0x0A	Bit

본 프로토콜에서는 AFN, ADS-C, CPDLC, ATS(PDC) 통신을 구분하기 위해 해당하는 통신 메시지를 <표 3-4-2-5> 와 같이 ID로 분류 정의한다. 항공기에서 지상 ATC 센터로의 전송은 Downlink로 정의하며, 지상 ATC센터에서 항공기로의 전송은 Uplink로 정의한다. 그리고 연결해제 요청 메시지의 경우에는 전송방향을 지정하지 않고 Disconnect Header 한가지로 정의한다.

<표 3-4-2-5> 전송 메시지 ID 정의

항목	정의	비고
A0	AFN Uplink	ATS Facility Notification (UP)
B0	AFN Downlink	ATS Facility Notification (DN)
A6	ADS Uplink	Request ADS Reports (UP)
B6	ADS Downlink	Provide ADS Reports (DN)
6E	ADS Disconnect	ADS Disconnect Request
AA	ATC Uplink	ATC Communication (UP)
BA	ATC Downlink	ATC Communication (DN)
AE	ATC Disconnect	ATC Disconnect Request
A3	PDC Uplink	PDC Mesg Response (UP)
B3	PDC Downlink	Clearance Departure Request and Readback Mesg Transmit (DN)
LU	Flight Test Uplink	Flight Test Mesg Transmit (UP)
LD	Flight Test Downlink	Flight Test Mesg Transmit (DN)
PA	N1 전송 Uplink/Downlink	N1 Request/Response

라. VME 통신 인터페이스 설계

본 항목에서는 VME와의 인터페이스에 대해서 기술한다. Wrapper와 VME간에는 TCP/IP로 연결되며, Wrapper가 클라이언트로 접속하는 형태로 이때 사용되는 각각의 프리미티브들의 형식에 대해서 다음과 같이 설명한다.

- Header: “0xFA”
- EOF: “0xFF”

VME_CONNECT.ind

1 31

Header	ID(0x01)	Length
TN		
EOF		

VME와 Tailnumber(TN)을 갖는 항공기간의 VDL Mode2 링크를 성립하였을 때 사용되는 프리미티브이다.

VME_DISCONNECT.ind

1 31

Header	ID(0x02)	Length
TN		
EOF		

VME와 Tailnumber(TN)을 갖는 항공기간의 VDL Mode2 링크가 단절되었을 때 사용되는 프리미티브이다.

AOA_N1_NOTIFY.ind

1 31

Header	ID(0x03)	Length
Uplink		
Downlink		
EOF		

VME에서 관리되는 N1 Uplink와 N1 Downlink Parameter를 획득하기 위한 프리미티브이다.

AOA_DATA_SEND.req

1 31

Header	ID(0x04)	Length
TN		
DATA		
EOF		

VME에게 데이터를 전달하기 위한 프리미티브이다.

AOA_DATA_RECV.ind

1 31

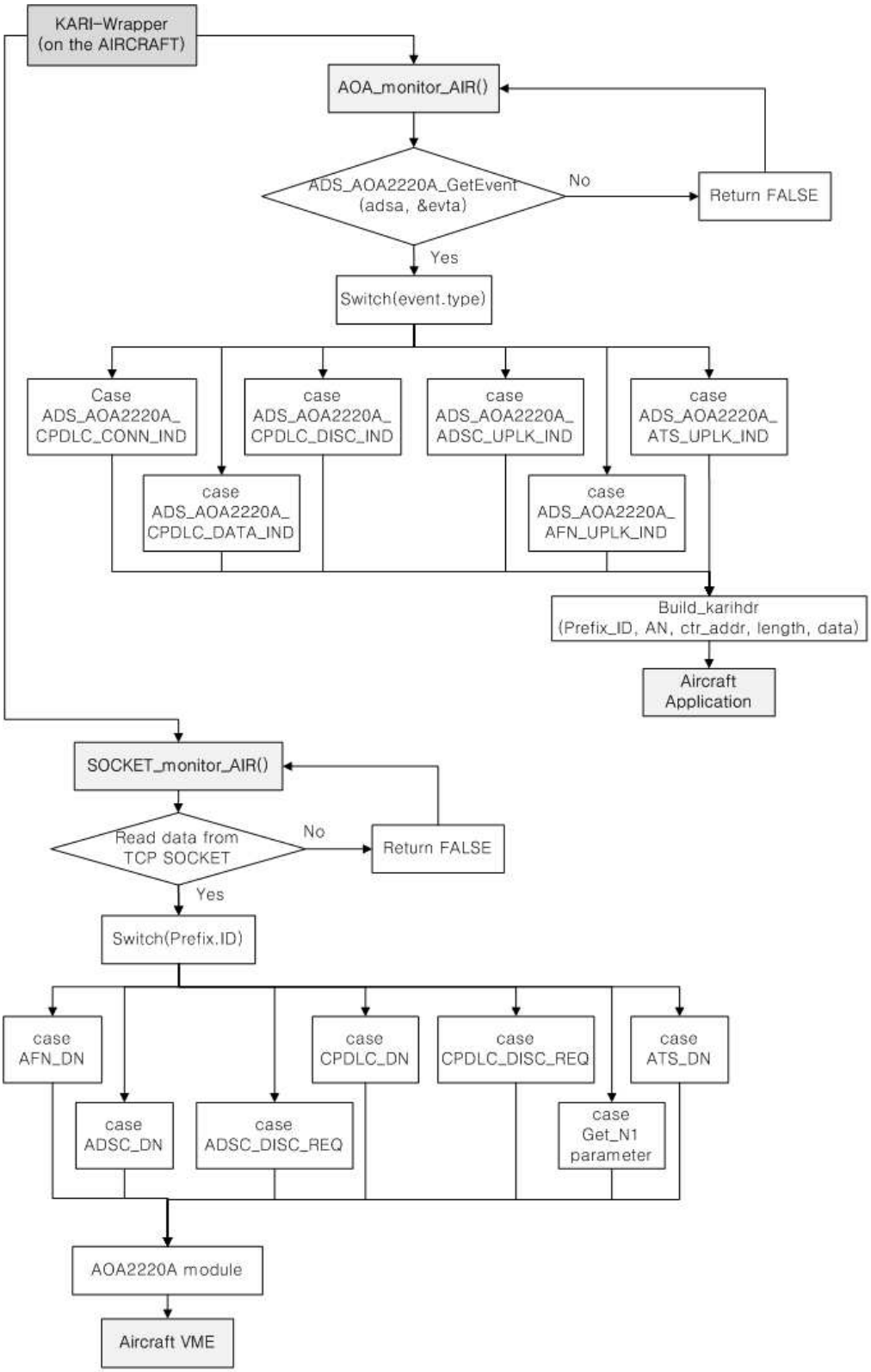
Header	ID(0x05)	Length
TN		
DATA		
EOF		

VME로부터 데이터를 수신하였을 때 사용되는 프리미티브이다.

마. 기능 흐름도(Function Flow Diagram)

(1) 항공기 탑재 KARI Wrapper(Aircraft)

항공기 탑재 KARI Wrapper 모듈은 항공기 탑재 운용프로그램으로부터 TCP/IP 통신을 통해서 데이터를 수신하고 처리하는 기능과 지상 ATC센터로부터 수신한 데이터 처리기능을 수행한다. (1)와 (2)에 항공기 탑재용 KARI Wrapper 각각의 함수 기능에 대해서 기술하며, 항공기 탑재 KARI Wrapper 기능 흐름도는 <그림 3-4-2-2>에 나타낸다.



<그림 3-4-2-2> 항공기 탑재 KARI Wrapper 기능 흐름도

(가) get_N1() 함수

항공기 탑재 운용프로그램에서는 지상 ATC센터와 데이터 통신을 하기 위해서 데이터 전송 사이즈 값인 N1 파라미터 값을 통신 연결설정 전에 획득하여야하는데, get_N1()함수는 이러한 N1 파라미터 값을 탑재 VDR장비로부터 획득하기 위한 함수이다. 이 기능을 통해서 획득된 N1 파라미터 값은 TCP/IP 통신을 통해 항공기 탑재 운용프로그램에 전달한다.

(나) AOA_Monitor_AIR() 함수

항공기 탑재 AOA222A 모듈로부터 항공기 탑재 운용프로그램으로 전달되는 데이터의 수신 여부를 주기적으로 감시하는 기능을 수행한다. 데이터 수신이 감지되면 수신된 데이터의 event.type 에 따라 각각 CPDLC, ADS-C, AFN 데이터 처리 함수를 호출하게 된다. 이러한 데이터 처리함수들은 CPDLC, ADS-C, ATS의 경우 build_karihdr()를 AFN의 경우 build_AFN_karihdr() 함수를 호출하여 TCP/IP 통신을 통하여 항공기 탑재 운용프로그램으로 데이터를 전송한다. AOA_Monitor_AIR() 함수는 AOA2220A 모듈 감시 기능과 다음과 같은 각각의 부 함수들을 호출하여 해당하는 데이터를 처리하는 기능을 수행한다. ① ~ ⑤까지 각각의 부 함수들의 기능에 대해서 기술한다.

① CHECK_AFN_UP() 함수

AOA_Monitor_AIR() 함수에서 지상 ATC센터로부터 수신한 데이터를 AFN 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행한다. 변환된 데이터를 항공기 AFN 운영프로그램으로 전달하기 위하여 build_AFN_karihdr() 함수를 호출, AAS로 전송한다.

② CHECK_ADSC_UP() 함수

AOA_Monitor_AIR() 함수에서 지상 ATC센터로부터 수신한 데이터를 ADS-C 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행한다. 변환된 데이터를 항공기 ADS-C 운영프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, AAS로 전송한다.

③ CHECK_CPDLC_UP() 함수

AOA_Monitor_AIR() 함수에서 지상 ATC센터로부터 수신한 데이터를 CPDLC 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행한다. 변환된 데이터를 항공기 CPDLC 운영프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, AAS로 전송한다.

④ CHECK_CPDLC_DISC_IND() 함수

AOA_Monitor_AIR() 함수에서 지상 ATC센터로부터 수신한 CPDLC 연결해제 요청 데이터를 CPDLC 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행한다. 변환된 데이터를 항공기 CPDLC 운영프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, AAS로 전송한다.

⑤ CHECK_ATS_UPLK_IND() 함수

AOA_Monitor_AIR() 함수에서 지상 ATC센터로부터 수신한 PDC 서비스 관련 데이터를 ATS 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하여 항공기 ATS 운영프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, AAS로 전송한다.

(다) SOCKET_Monitor_AIR() 함수

항공기 탑재 운용프로그램으로부터 데이터 수신 여부를 감시하는 기능을 수행하는 함수이다. 데이터 수신이 감지되면 수신된 데이터의 prefix 값을 검사하여 수신된 데이터가 본 프로토콜에 적합한 데이터인지를 검사한 후 적합 판정이 나면 ID 값을 검사한 후 각각에 해당되는 AOA222A 모듈 데이터 처리함수를 호출하게 된다. 다음 ① ~ ⑦까지 각각의 부 함수들의 기능에 대해서 기술한다.

① AFN_DOWNLINK() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 AFN 운용프로그램으로부터 수신한 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220_AFN_DnlkReq() 함수를 호출한다.

② ADSC_DOWNLINK() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 ADS-C 운용프로그램으로부터 수신한 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220_ADSC_DnlkReq() 함수를 호출한다.

③ ADSC_DISC_REQ() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 ADS-C 운용프로그램으로부터 수신한 ADS-C 연결해제요청 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220_ADSC_DiscReq() 함수를 호출한다.

④ CPDLC_DOWNLINK() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 CPDLC 운용프로그램으로부터 수신한 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220_CPDLC_DnlkReq() 함수를 호출한다.

⑤ CPDLC_DISC_REQ() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 CPDLC 운용프로그램으로부터 수신한 CPDLC 연결해제요청 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220_CPDLC_DiscReq() 함수를 호출한다.

⑥ CPDLC_LOOP_TEST() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 CPDLC 운용프로그램으로부터 수신한 비행시험용 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220_CPDLC_DataReq() 함수를 호출한다.

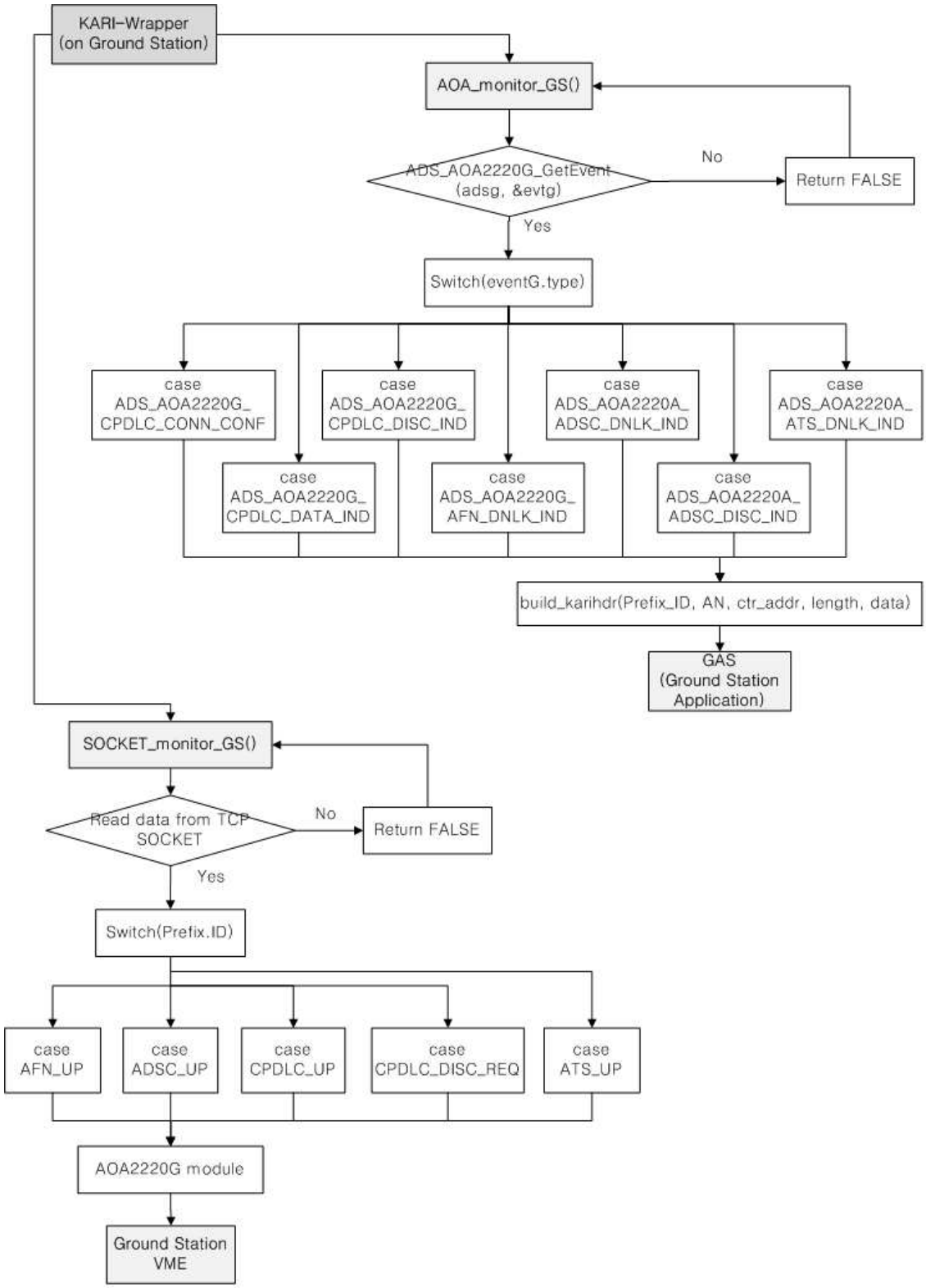
⑦ ATS_DOWNLINK() 함수

SOCKET_Monitor_AIR() 함수에서 항공기 탑재 CPDLC 운용프로그램으로부터

수신한 PDC 서비스 관련 데이터를 AOA2220A 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하여 지상 ATC센터로 전송하기 위한 기능을 수행하며, AOA2220A_ATS_DnlkReq() 함수를 호출한다.

(2) 지상 ATC센터 KARI Wrapper

항공기 탑재 KARI Wrapper 모듈은 다음과 같은 기능을 수행한다. (2)와 (3)에는 지상 ATC센터 탑재용 KARI Wrapper(Ground Station)의 각각의 함수 기능에 대해서 기술하며 기능 흐름도는 <그림 3-4-2-3>에 나타낸다.



<그림 3-4-2-3> 지상 ATC센터 KARI Wrapper 기능 흐름도

(가) AOA_Monitor_GS() 함수

지상 ATC센터 탑재 AOA222G 모듈로부터 지상 ATC센터 탑재 운용프로그램으로 전달되는 데이터의 수신 여부를 주기적으로 감시하는 기능을 수행한다. 데이터 수신이 감지되면 수신된 데이터가 event.type 에 따라 각각 CPDLC, ADS-C, AFN 데이터 처리 함수를 호출하게 된다. 이러한 데이터 처리함수들은 CPDLC, ADS-C의 경우 build_karihdr()를 AFN의 경우 build_AFN_karihdr() 함수를 호출하여 지상 ATC센터 탑재 운용프로그램으로 TCP/IP 통신을 통하여 데이터를 전송한다. AOA_Monitor_GS() 함수는 다음과 같은 각각의 서브 함수들을 호출하여 해당하는 데이터를 처리한다. 다음 ① ~ ⑥까지 각각의 부 함수들의 기능에 대해서 기술한다.

① CHECK_AFN_DNLK_IND() 함수

AOA_Monitor_GS() 함수에서 항공기로부터 수신한 데이터를 AFN 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 지상 ATC 센터의 AFN 운용프로그램으로 전달하기 위하여 build_AFN_karihdr() 함수를 호출, GAS로 전송한다.

② CHECK_ADSC_DNLK_IND() 함수

AOA_Monitor_GS() 함수에서 항공기로부터 수신한 데이터를 ADS-C 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 지상 ATC 센터의 ADS-C 운용프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, GAS로 전송한다.

③ CHECK_ADSC_DISC_IND() 함수

AOA_Monitor_GS() 함수에서 항공기로부터 수신한 ADS-C 연결해제요청 데이터를 ADS-C 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 지상 ATC 센터의 ADS-C 운용프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, GAS로 전송한다.

④ CHECK_ATS_DNLK_IND() 함수

항공기로부터 수신한 PDC 서비스 관련 데이터를 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행한다. 변환된 데이터를 지상 ATC 센터의 PDC 운용프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, GAS로 전송한다. 이때 한국공항공사(KAC)의 PDC 서비스 서버로의 TCP 연결을 감지하여 만약 연결 상태이면, 한국공항공사의 PDC 통신서버로 해당 데이터를 전송한다. 한국공항공사 PDC 통신서버와 GAS 두 곳에 동시 연결 상태인 경우 두 곳으로 동시에 데이터 전송은 가능하나 두 곳에서 응답되는 수신 데이터를 구분 처리하는 부분은 과제 수행범위를 넘어서는 것으로 현재 구현되어 있지 않다.

⑤ CHECK_CPDLC_DN() 함수

AOA_Monitor_GS() 함수에서 항공기로부터 수신한 데이터를 CPDLC 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 지상 ATC 센터의 CPDLC 운용프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, GAS로 전송한다.

⑥ CHECK_CPDLC_DISC_IND() 함수

AOA_Monitor_GS() 함수에서 항공기로부터 수신한 CPDLC 연결해제요청 데이터를 CPDLC 메시지 프레임 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 지상 ATC 센터의 CPDLC 운용프로그램으로 전달하기 위하여 build_karihdr() 함수를 호출, GAS로 전송한다.

(나) SOCKET_Monitor_GS() 함수

지상 ATC센터 탑재 운용프로그램으로부터 데이터 수신 여부를 감시하는 기능을 수행한다. 데이터 수신이 감지되면 수신된 데이터의 prefix 값을 검사하여 수신 데이터가 본 프로토콜에 적합한 데이터인지를 검사하게 된다. 검사 후 적합 판정이 나면 ID 값을 검사하여 각각에 해당되는 AOA2220G 모듈 데이터 처리함수를 호출하게 된다.

① AFN_UPLINK() 함수

SOCKET_Monitor_GS() 함수에서 지상 AFN 운용프로그램으로부터 수신한 AFN Logon Respond 데이터를 AOA2220G 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 항공기로 전송하기 위해 AOA2220G_AFN_UplkReq() 함수를 호출한다.

② ADSC_UPLINK() 함수

SOCKET_Monitor_GS() 함수에서 지상 ADS-C 운용프로그램으로부터 수신한 데이터를 AOA2220G 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 항공기로 전송하기 위해 AOA2220G_ADSC_UplkReq() 함수를 호출한다.

③ CPDLC_UPLINK() 함수

SOCKET_Monitor_GS() 함수에서 지상 CPDLC 운용프로그램으로부터 수신한 데이터를 AOA2220G 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 항공기로 전송하기 위해 AOA2220G_CPDLC_DataReq() 함수를 호출한다.

④ CPDLC_DISC_REQ() 함수

SOCKET_Monitor_GS() 함수에서 지상 CPDLC 운용프로그램으로부터 수신한 CPDLC 연결해제요청 데이터를 AOA2220G 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 항공기로 전송하기 위해 AOA2220G_CPDLC_DiscReq() 함수를 호출한다.

⑤ ATS_UPLINK() 함수

SOCKET_Monitor_GS() 함수에서 지상 PDC 운용프로그램으로부터 수신한 Clear Departure Request에 대한 응답 메시지(CLD) 데이터를 AOA2220G 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 변환된 데이터를 항공기로 전송하기 위해 AOA2220G_ATS_UplkReq() 함수를 호출한다.

⑥ CPDLC_LOOP_TEST() 함수

SOCKET_Monitor_GS() 함수에서 지상 비행시험 운용프로그램으로부터 수신한

데이터를 AOA2220G 모듈 메시지 형식에 맞게 변환하는 기능을 수행하며, 비행시험용 데이터는 CPDLC 기능을 이용하며, 변환된 데이터를 항공기로 전송하기 위해 AOA2220G_CPDLC_DataReq() 함수를 호출한다.

바. 프리미티브 및 파라미터 정의

프리미티브란 AOA 모듈에서 제공하는 CPDLC, ADS-C, AFN downlink와 uplink 각각에서 사용되는 인터페이스로 규정할 수 있다. 본 시스템에서는 운용프로그램과 KARI-wrraper를 고유의 기능을 수행하는 독립적인 개체로 보고, 개체간 주고받는 서비스를 프리미티브로 정의한다. 각각의 프리미티브는 항공기측과 지상국으로 구분되며 또한 항공기 및 지상ATC센터 각각에 대해 수신(Incoming)과 전송(Outgoing)으로 구분된다. 서비스 프리미티브는 다음의 네 가지 프리미티브로 구성된다.

- 요청(Request Primitive)
- 지시(Indication Primitive)
- 응답(Response Primitive)
- 확인(Confirm Primitive)

여기서 요청은 데이터 전송과 연결해제요청을 수행하는 프리미티브이고, 지시는 서비스 이용자로부터 요청받은 요구사항에 대하여 서비스 제공자에게 알리는 프리미티브이다. 응답은 서비스 제공자가 서비스이용자에게 요청에 대한 응답을 하는 프리미티브이고 확인은 서비스 제공자가 서비스 이용자에게로의 요청에 대한 최종 확인 프리미티브이다.

본 절에서는 CPDLC, ADS-C, AFN 각각의 프리미티브와 파라미터에 대해 기술한다. <표 3-4-2-6>에서는 AOA2220 모듈에서 사용되는 프리미티브와 파라미터에 대해 정의하였다.

<표 3-4-2-6> 프리미티브와 파라미터 정의

Primitive	Aircraft/ Ground Station	Description	Parameter
CPDLCDataReq	Aircraft Outgoing	CPDLC-DATA-REQUEST	ctr_addr, data, size
CPDLCConnRsp		CPDLC-CONNECT-RESPONSE	ctr_addr, tail_no data, size
CPDLCConnInd	Aircraft Incoming	CPDLC-CONNECT-INDICATION	ctr_addr, tail_no, data, size
CPDLCDataInd		CPDLC-DATA-INDICATION	ctr_addr, data, size
CPDLCDiscInd		CPDLC-DISCONNECT-INDICATION	ctr_addr, reason, data, size
CPDLCConnReq	Ground Station Outgoing	CPDLC-CONNECT-REQUEST	tail_no, ctr_addr, data, size
CPDLCDataReq		CPDLC-DATA-REQUEST	tail_no, data, size
CPDLCDiscReq		CPDLC-DISCONNECT-REQUEST	tail_no, data, size
CPDLCConnCnf	Ground Station Incoming	CPDLC-CONNECT-CONFIRM	tail_no, ctr_addr, data, size
CPDLCDataInd		CPDLC-DATA-INDICATION	tail_no, data, size
CPDLCDiscInd		CPDLC-DISCONNECT-INDICATION	tail_no, reason, data, size
ADSCDnlkReq	Aircraft Outgoing	ADSC-DOWNLINK	ctr_addrs, tail_no, data, size
ADSCDiscReq		ADSC-DISCONNECT-REQUEST	ctr_addrs, tail_no, reason
ADSCUplkInd	Aircraft Incoming	ADSC-UPLINK-INDICATION	ctr_addrs, tail_no, data, size
ADSCUplkReq	Ground Station Outgoing	ADSC-UPLINK-REQUEST	ctr_addrs, tail_no, data, size
ADSCDnlkInd	Ground Station Incoming	ADSC-DOWNLINK-INDICATION	ctr_addrs, tail_no, data, size
ADSCDiscInd		ADSC-DISCONNECT-INDICATION	ctr_addrs, tail_no, reason
AFNDnlkReq	Aircraft Outgoing	AFN-DOWNLINK-REQUEST	ctr_addr, data, size
AFNUplkInd	Aircraft Incoming	AFN-UPLINK-INDICATION	ctr_addr, data, size
AFNUplkReq	Ground Station Outgoing	AFN-UPLINK-REQUEST	tail_no, data, size
AFNDNlkInd	Ground Station Incoming	AFN-DOWNLINK-INDICATION	tail_no, data, size
ATSDnlkReq	Aircraft Outgoing	ATS-DOWNLINK-REQUEST	ctr_addr, tail_no, imi, mfi, data, size
ATSUplkInd	Aircraft Incoming	ATS-UPLINK-INDICATION	ctr_addr, tail_no, imi, mfi, data, size
ATSUplkReq	Ground Station Outgoing	ATS-UPLINK-REQUEST	ctr_addr, tail_no, imi, mfi, data, size
ATSDnlkInd	Ground Station Incoming	ATS-DOWNLINK-INDICATION	ctr_addr, tail_no, imi, mfi, data, size

(1) CPDLC 프리미티브와 파라미터

본 절에서는 CPDLC 운용프로그램과 AOA2220 레이어간의 통신을 지원하기 위한 프리미티브 및 파라미터들에 대해서 기술한다. 프리미티브들은 CPDLC 인터페이스와 그들의 타입에 따라 전송 및 수신에 대해 정의하며 파라미터는 프리미티브에 필요한 입력 값에 대해서 정의한다. 이 프리미티브들은 “ANSI C” 규격으로 정의, 구현되었다.

(가) 항공기 측 전송 프리미티브

본 절에서는 항공기 측면에서 지상 ATC센터로의 데이터 전송 및 연결해제 요청에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① CPDLCDataReq(CPDLC-DATA-REQUEST)

항공기상의 CPDLC 운용프로그램에서 지상 ATC센터로 전송되는 데이터를 처리할 때 사용되는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, data, size 가 있다.

② CPDLCConnRsp(CPDLC-CONNECT-RESPONSE)

지상 ATC 센터로부터 수신한 CPDLC 연결요청에 대한 응답으로 항공기상의 CPDLC 운용프로그램에 의해 지상 ATC 센터로 전송되는 데이터를 처리하는데 사용되는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, tail_no, data, size가 있다.

③ CPDLCDiscReq(CPDLC-DISCONNECT-REQUEST)

CPDLC 연결해제 요청을 지상 ATC센터로 요청하기 위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, data, size가 있다.

(나) 항공기 측 수신 프리미티브

본 절에서는 항공기 측면에서 지상ATC센터로부터의 연결요청 및 데이터 수신, 연결해제 요청 수신에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① CPDLCConnInd(CPDLC-CONNECT-INDICATION)

지상 ATC 센터로부터 항공기상의 CPDLC 운용프로그램으로 요청되는 연결요청에 대해서 지시하는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, tail_no, data, size 가 있다.

② CPDLCDataInd(CPDLC-DATA-INDICATION)

지상 ATC 센터로부터 수신한 CPDLC 데이터를 항공기상의 CPDLC 운용프로그램으로 전달하기 위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, data, size가 있으며 한번 CPDLC가 연결설정 완료되면 데이터를 송수신하는 데에는 tail_no 파라미터가 사용되지 않는다.

③ CPDLCDiscInd(CPDLC-DISCONNECT-INDICATION)

지상 ATC센터로부터 수신한 CPDLC 연결해제 요청을 처리하기 위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, reason, data, size가 있다.

(다) 지상 ATC 센터 측 전송 프리미티브

본 절에서는 지상 ATC 센터에서 항공기로 연결요청 및 데이터 전송, 연결해제 요청에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① CPDLCConnReq(CPDLC-CONNECT-REQUEST)

지상ATC센터가 항공기 CPDLC 운용프로그램에게 CPDLC 연결을 요청하는 프리미티브로 파라미터는 tail_no, ctr_addr, data, size가 있다.

② CPDLCDataReq(CPDLC-DATA-REQUEST)

지상ATC센터가 CPDLC 연결설정 완료된 항공기 CPDLC 운용프로그램에게 데이터를 전송하는 프리미티브로 파라미터는 tail_no, data, size가 있다.

③ CPDLCDiscReq(CPDLC-DISCONNECT-REQUEST)

지상 ATC센터가 기존에 CPDLC 연결된 항공기 CPDLC 운용프로그램에게

CPDLC 연결 해제를 요청하는 프리미티브로 파라미터는 tail_no, data, size가 있다.

(라) 지상 ATC 센터 측 수신 프리미티브

본 절에서는 항공기로부터 지상 ATC 센터로 연결요청승인 및 데이터 수신, 연결해제 요청 수신에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① CPDLCConnCnf(CPDLC-CONNECT-CONFIRM)

지상ATC센터가 항공기 운용프로그램으로부터 CPDLC 연결요청을 수신한 후 이에 대한 연결설정 승인을 위한 프리미티브로 파라미터는 tail_no, ctr_addr, data, size가 있다.

② CPDLCDataInd(CPDLC-DATA-INDICATION)

지상ATC센터가 항공기 운용프로그램으로부터 CPDLC 데이터 수신을 지시하기 위한 프리미티브로 파라미터는 tail_no, data, size가 있다.

③ CPDLCDiscInd(CPDLC-DISCONNECT-INDICATION)

지상ATC센터가 항공기 운용프로그램으로부터 수신한 CPDLC 연결 해제 요청을 위한 프리미티브로 파라미터는 tail_no, reason, data, size가 있다.

(마) 파라미터

본 절에서는 프리미티브와 같이 사용되는 각각의 파라미터에 대해서 기술한다.

① ctr_addr(ATC center address)

지상 ATC 센터 주소로 7 character의 주소이다.

② tail_no

항공기를 구분하기 위한 고유 주소로 7 character 주소이다.

③ data

탑재/지상 운용프로그램에서 생성된 메시지 데이터로 ARIN622 메시지 규격을 따른다.

④ size(Size of data filed)

탑재/지상 운용프로그램에서 전송되는 데이터의 실제 크기 값을 나타낸다.

⑤ reason

탑재/지상 운용프로그램에서 수신한 연결해제 요청의 원인에 대해 지시하는 프리미티브이다. 원인 값은 다음 <표 3-4-2-7>과 같이 5종류로 정의되어 있다.

<표 3-4-2-7> CPDLC Disconnect Request Reason Values

Reason	Description
USER	사용자에 의해 요청된 연결해제
PROV_INT	내부 에러에 의한 연결해제
PROV_UNKN	Called TS user unknown
PROV_UNAVAIL	Called TS unavailable
PROV_UNDEF	정의되지 않은 이유

(2) ADS-C 프리미티브와 파라미터

본 절에서는 ADS-C 운용프로그램과 AOA2220 레이어간의 통신을 지원하기 위한 프리미티브 및 파라미터들에 대해서 기술한다. 프리미티브들은 ADS-C 인터페이스와 그들의 타입에 따라 전송 및 수신에 대해 정의하며 파라미터는 프리미티브에 필요한 입력 값에 대해서 정의한다. 이 프리미티브들은 “ANSI C” 규격으로 정의, 구현되었다.

(가) 항공기 측 전송 프리미티브

본 절에서는 항공기 ADS-C 운용프로그램에서 지상ATC센터로의 데이터 전송 및 연결해제 요청에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ADSCDnlkReq(ADSC-DOWNLINK)

항공기상의 ADS-C 운용프로그램에서 지상 ATC센터로 전송되는 데이터를 처리할 때 사용되는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addrs, data, size 가 있다.

② ADSCDiscReq(ADSC-DISCONNECT-REQUEST)

항공기상의 ADS-C 운용프로그램에서 연결된 지상 ATC 센터로 ADS-C 연결해제 요청을 하는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, tail_no, reason가 있다.

(나) 항공기 측 수신 프리미티브

본 절에서는 지상ATC센터로부터 항공기 ADS-C 운용프로그램으로 수신되는 데이터 및 ADS-C 연결해제 요청에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ADSCUplkInd(ADSC-UPLINK-INDICATION)

항공기상의 ADS-C 운용프로그램이 지상 ATC센터로부터 수신하는 데이터에 대한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addrs, tail_no, data, size 가 있다.

(다) 지상 ATC 센터 측 전송 프리미티브

본 절에서는 지상 ATC 센터에서 항공기의 ADS-C 운용프로그램으로의 데이터 전송 에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ADSCUplkReq(ADSC-UPLINK-REQUEST)

지상ATC센터가 항공기 ADS-C 운용프로그램에게 데이터를 전송하는 프리미티브이다. 파라미터는 ctr_addrs, tail_no, data, size가 있다.

(라) 지상 ATC 센터 측 수신 프리미티브

본 절에서는 항공기 ADS-C 운용프로그램으로부터 지상 ATC 센터로 데이터 수신 및 연결해제 요청 수신에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ADSCDnlkInd(ADSC-DOWNLINK-INDICATION)

지상ATC센터가 항공기 ADS-C 운용프로그램으로부터 수신하는 데이터의 지시를 위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addrs, tail_no, data, size가 있다.

② ADSCDiscInd(ADSC-DISCONNECT-INDICATION)

지상ATC센터가 항공기 ADS-C 운용프로그램으로부터 수신한 ADS-C 연결해제 요청을 위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addrs, tail_no, reason가 있다.

(마) 파라미터

본 절에서는 프리미티브와 같이 사용되는 각각의 파라미터에 대해서 기술한다.

① ctr_addrs(ATC center addresses)

지상 ATC 센터 주소로 7 character의 주소이다. 다수의 ATC 주소를 명시가능하며 각각의 주소는 [스페이스]로 구분된다.

② tail_no

항공기를 구분하기 위한 고유 주소로 7 character 주소이다.

③ data

항공기 ADS-C 운용프로그램에서 생성된 ADS-C데이터로 GPS에서 생성되는 정보를 포함한다.

④ size(Size of data filed)

항공기 ADS-C 운용프로그램에서 지상 ATC 센터로 전송되는 데이터의 크기 값을 나타낸다.

⑤ reason

항공기 ADS-C 운용프로그램에서 지상 ATC 센터로의 연결된 ADS-C 연결해제 요청의 원인에 대해 지시하는 파라미터로 4가지 중 반드시 1가지 값을 사용해

야 한다. 원인 값은 다음 <표3-4-2-8>과 같이 4종류로 정의되어 있다.

<표 3-4-2-8> ADS-C Disconnect Request Reason Values

Reason	Description
0	원인이 명시되지 않음
1	충돌(Congestion)
2	응용프로그램 동작불능(Application not available)
8	일반적인 연결해제

(3) AFN 프리미티브와 파라미터

본 절에서는 AFN 운용프로그램과 AOA2220 레이어간의 통신을 지원하기 위한 프리미티브 및 파라미터들에 대해서 기술한다. 프리미티브들은 AFN 인터페이스와 그들의 타입에 따라 전송 및 수신에 대해 정의하며 파라미터는 프리미티브에 필요한 입력 값에 대해서 정의한다. 이 프리미티브들은 “ANSI C” 규격으로 정의, 구현되었다.

(가) 항공기 측 전송 프리미티브

본 절에서는 항공기 AFN 운용프로그램에서 지상 ATC센터로의 데이터 전송에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① AFNDnlkReq(AFN-DOWNLINK-REQUEST)

항공기상의 AFN 운용프로그램에서 지상 ATC센터로 전송되는 데이터 전송 시 사용되는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, data, size 가 있다.

(나) 항공기 측 수신 프리미티브

본 절에서는 지상ATC센터로부터 항공기 AFN 운용프로그램으로 수신되는 데이터에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① AFNUplkInd(AFN-UPLINK-INDICATION)

항공기상의 AFN 운용프로그램이 지상 ATC센터로부터 수신하는 데이터에 대한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, data, size 가 있다.

(다) 지상 ATC 센터 측 전송 프리미티브

본 절에서는 지상 ATC 센터에서 항공기의 AFN 운용프로그램으로의 데이터 전송에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① AFNUplkReq(AFN-UPLINK-REQUEST)

지상 ATC센터가 항공기 AFN 운용프로그램에게 데이터를 전송하는 프리미티브로 파라미터는 tail_no, data, size가 있다.

(라) 지상 ATC 센터 측 수신 프리미티브

본 절에서는 항공기 AFN 운용프로그램으로부터 지상 ATC 센터로 데이터 수신 에 대한 지시 프리미티브에 대해서 기술한다.

① AFNDNlkInd(AFN-DOWNLINK-INDICATION)

지상 ATC센터가 항공기 AFN 운용프로그램으로부터 수신하는 데이터의 지시를 위한 프리미티브로 파라미터는 tail_no, data, size가 있다.

(마) 파라미터

본 절에서는 프리미티브와 같이 사용되는 각각의 파라미터에 대해서 기술한다.

① ctr_addr(ATC center address)

지상 ATC 센터 주소로 7 character의 주소이다.

② tail_no

항공기를 구분하기 위한 고유 주소로 7 character 주소이다.

③ data

항공기 AFN 운용프로그램에서 생성된 AFN Logon데이터로 항공기 tail number, 접속할 ctr_addr 등의 정보를 포함한다.

④ size(Size of data filed)

항공기 AFN 운용프로그램에서 지상 ATC 센터로 전송되는 실제 데이터의 크기 값을 나타낸다.

(4) ATS 프리미티브와 파라미터

본 절에서는 ATS 운용프로그램과 AOA2220 레이어간의 통신을 지원하기 위한 프리미티브 및 파라미터들에 대해서 기술한다. 프리미티브들은 ATS 인터페이스와 그들의 타입에 따라 전송 및 수신에 대해 정의하며 파라미터는 프리미티브에 필요한 입력 값에 대해서 정의한다. 이 프리미티브들은 "ANSI C" 규격으로 정의, 구현되었다.

(가) 항공기 측 전송 프리미티브

본 절에서는 항공기 ATS 운용프로그램에서 지상 ATC센터로의 데이터 전송에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ATSDnlkReq(ATS-DOWNLINK-REQUEST)

항공기상의 ATS 운용프로그램에서 지상 ATC센터로 전송되는 데이터 전송 시 사용되는 프리미티브로 파라미터는 ctr_addrs, tail_no, imi, mfi, data, size 가 사용된다.

(나) 항공기 측 수신 프리미티브

본 절에서는 지상ATC센터로부터 항공기 ATS 운용프로그램으로 수신되는 데이터에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ATSUplkInd(ATS-UPLINK-INDICATION)

항공기상의 ATS 운용프로그램이 지상 ATC센터로부터 수신하는 데이터에 대한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, tail_no, imi, mfi, data, size 가 있다.

(다) 지상 ATC 센터 측 전송 프리미티브

본 절에서는 지상 ATC 센터에서 항공기의 ATS 운용프로그램으로의 데이터 전송에 대한 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ATSUplkReq(ATS-UPLINK-REQUEST)

지상 ATC센터가 항공기 ATS 운용프로그램에게 데이터를 전송하기위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addr, tail_no, imi, mfi, data, size 가 있다.

(라) 지상 ATC 센터 측 수신 프리미티브

본 절에서는 항공기 ATS 운용프로그램으로부터 지상 ATC 센터로 데이터 수신 에 대한 지시 프리미티브에 대해서 기술한다.

① ATSDNlkInd(ATS-DOWNLINK-INDICATION)

지상 ATC센터가 항공기 ATS 운용프로그램으로부터 수신하는 데이터의 지시를 위한 프리미티브로 파라미터는 ctr_addrs, tail_no, imi, mfi, data, size가 있다.

(마) 파라미터

본 절에서는 프리미티브와 같이 사용되는 각각의 파라미터에 대해서 기술한다.

① ctr_addr(ATC center address)

지상 ATC 센터 주소로 7 character의 주소이다.

② tail_no

항공기를 구분하기 위한 고유 주소로 7 character 주소이다.

③ IMI(Imbedded Message Identifier)

임베디드된 데이터 메시지를 구분하기 위한 정보를 나타낸다.

예) DC1 : PDC 서비스 메시지이며, 버전 1에 해당함을 의미.

④ MFI(Message Format Identifier)

메시지 형식을 구분하기 위한 구분자이다.

예) A3 : 해당 MFI를 가지는 메시지는 PDC 메시지임을 의미.

⑤ data

항공기 ATS 운용프로그램에서 생성된 PDC서비스 데이터로 RCD(Request Clearance Departure) 메시지, CLD(Departure Clearance Response) 메시지, CDA(Departure Clearance Readback) 메시지를 포함한다.

⑥ size(Size of data filed)

항공기 ATS 운용프로그램에서 지상 ATC 센터로 전송되는 데이터의 크기 값을 나타낸다.

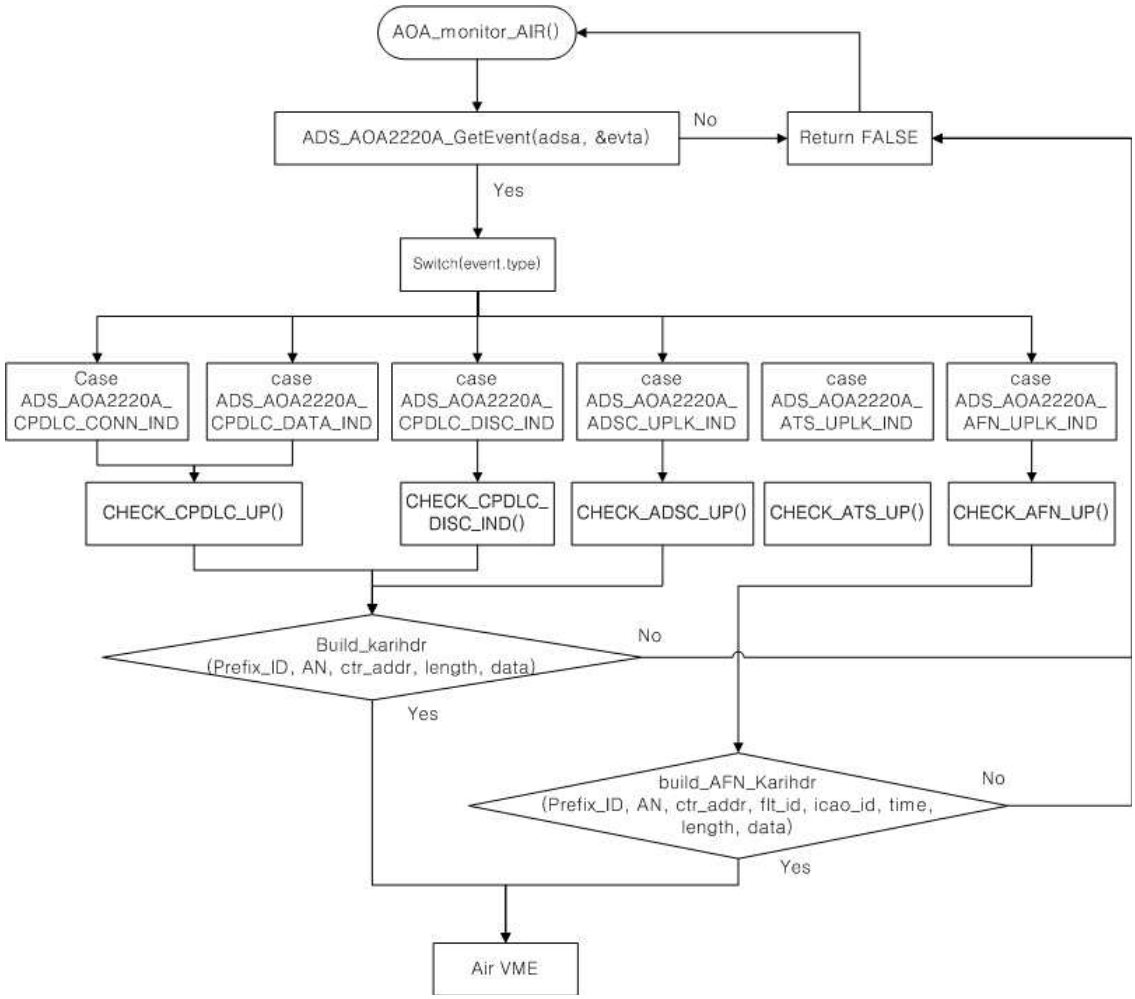
3. KARI Wrapper 구현

KARI Wrapper의 구현은 기본적으로 순서도를 바탕으로 구현되었다. 본 보고서에는 그중 항공기 탑재 AOA 모듈 상태를 모니터링하여 데이터 수신 여부를 확인 하는 부분에 대한 순서도와 탑재 운용프로그램으로부터 데이터를 송수신하는 부분에 대한 순서도를 <그림 3-4-3-1> 과 <그림 3-4-3-2>에 보인다.

가. 항공기 KARI Wrapper 송수신 처리 함수 순서도

(1) AOA_monitor_AIR() 함수

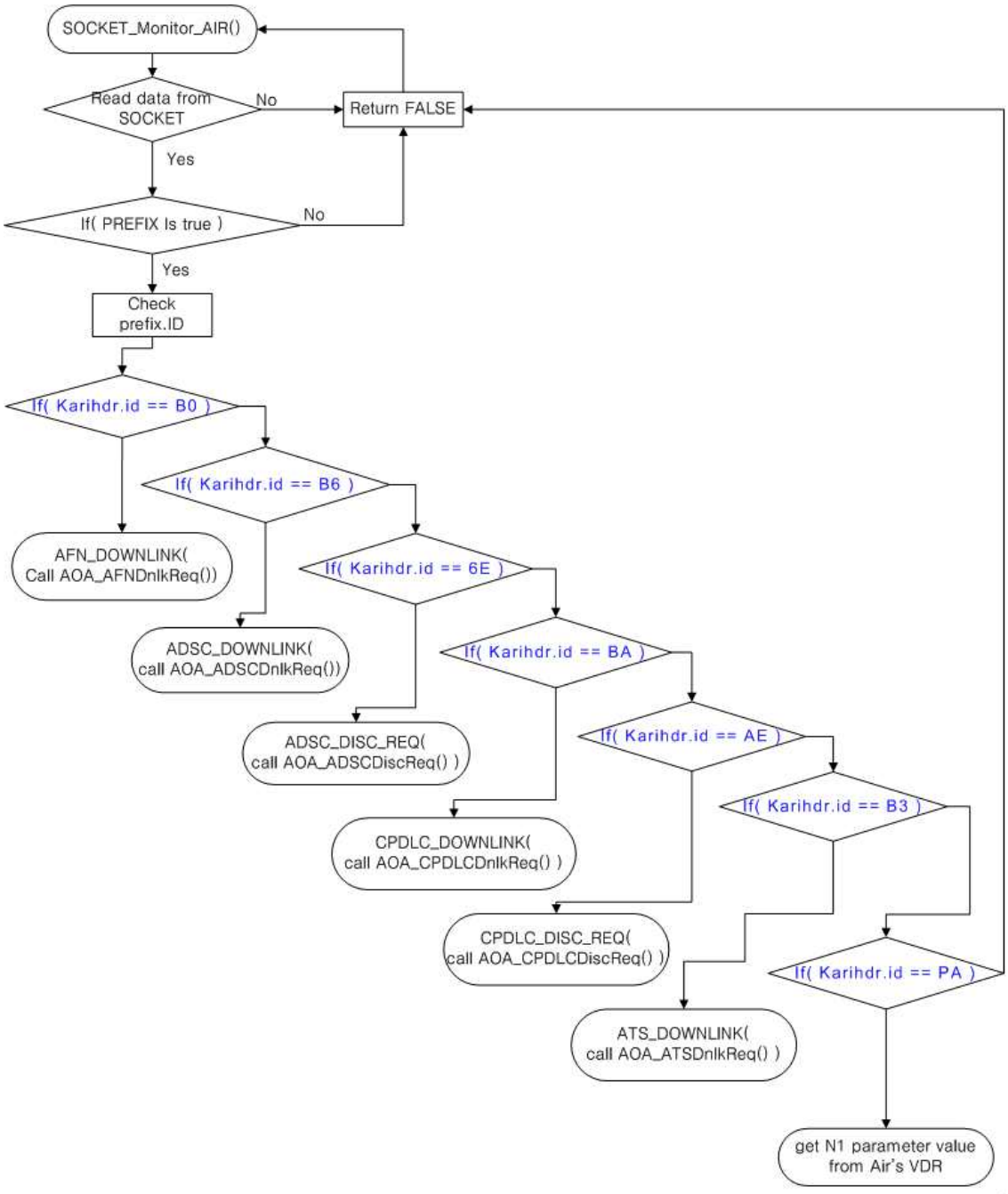
항공기 탑재 KARI Wrapper의 AOA 모듈 감시 기능을 수행하는 함수로, 주기적으로 AOA 모듈에 수신데이터가 존재하는지 검사를 수행한다.



<그림 3-4-3-1> 항공기 탑재용 AOA 모듈 모니터링 함수

(2) SOCKET_MONITOR_AIR()

항공기 탑재 운용프로그램으로부터 KARI Wrapper로의 데이터 수신 상태를 감시하는 기능을 수행한다.

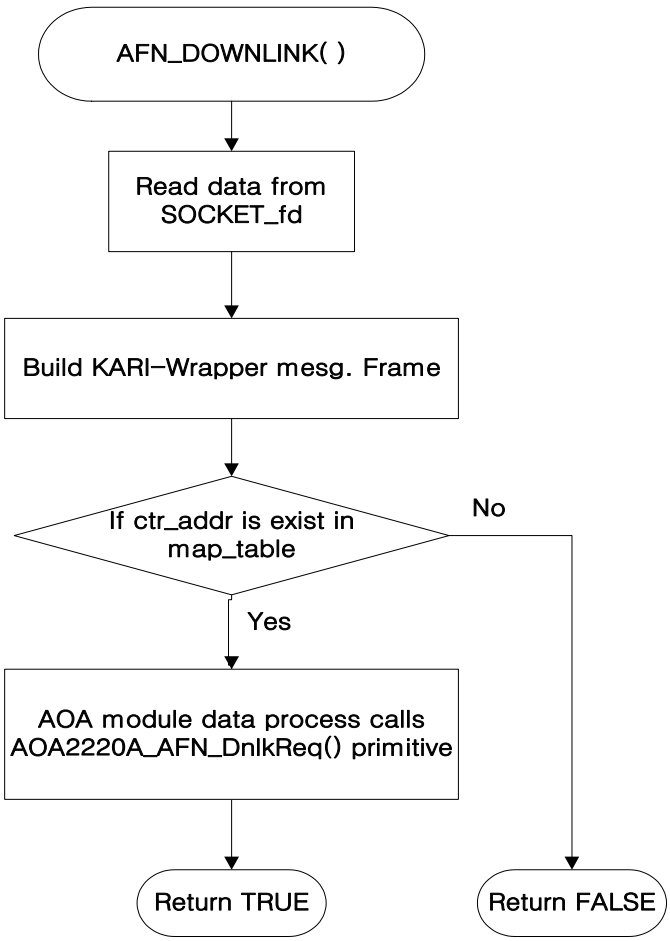


<그림 3-4-3-2> 항공기 탑재용 운용프로그램 데이터 모니터링 함수 순서도

SOCKET_MONITOR_AIR() 함수는 운용프로그램으로부터 수신데이터가 발생하면 수신데이터의 prefix와 ID를 검사하고 이에 해당하는 부 함수들을 호출하여 수신데이터를 전달하는 기능을 수행한다. (3), (4), (5), (6), (7), (8)에 각각의 부 함수들의 순서도에 대해서 나타낸다.

(3) AFN_DONWLINK() 함수 순서도

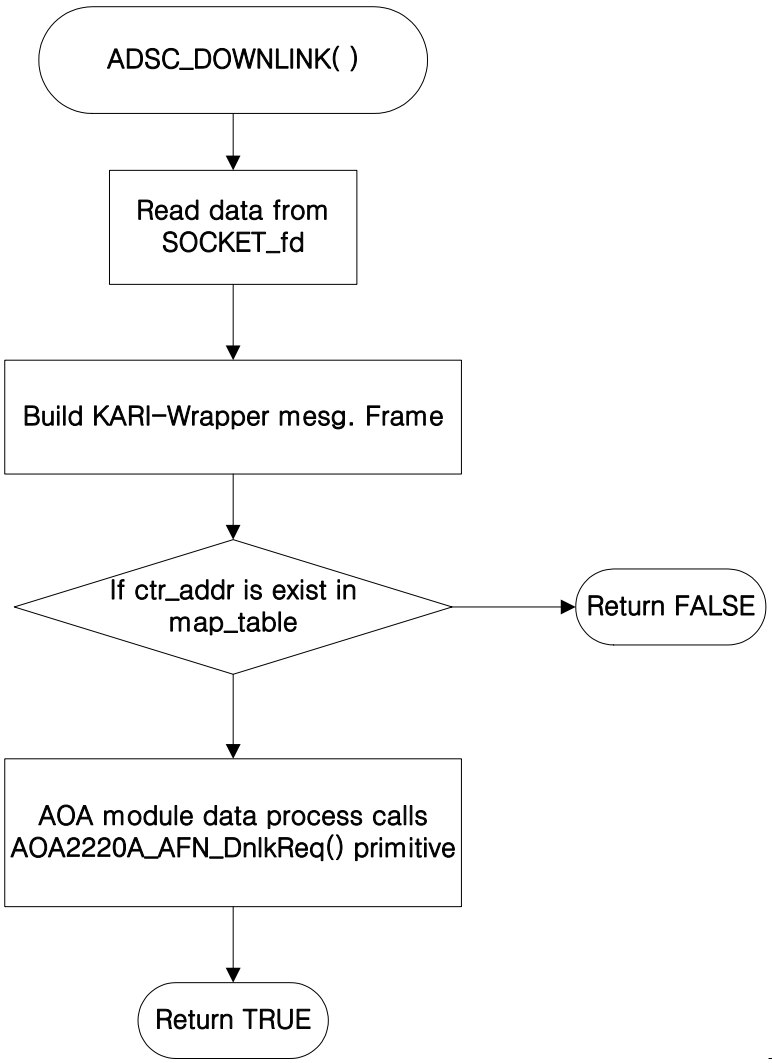
항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 AFN 다운링크 메시지를 처리하는 부 함수로 socket으로부터 데이터를 읽어서 데이터를 변환한 후 해당하는 AOA 모듈 프리미티브를 호출하여 데이터를 전달하는 기능을 수행한다.



<그림 3-4-3-3> AFN Downlink Function

(4) ADSC_DOWNLINK() 함수 순서도

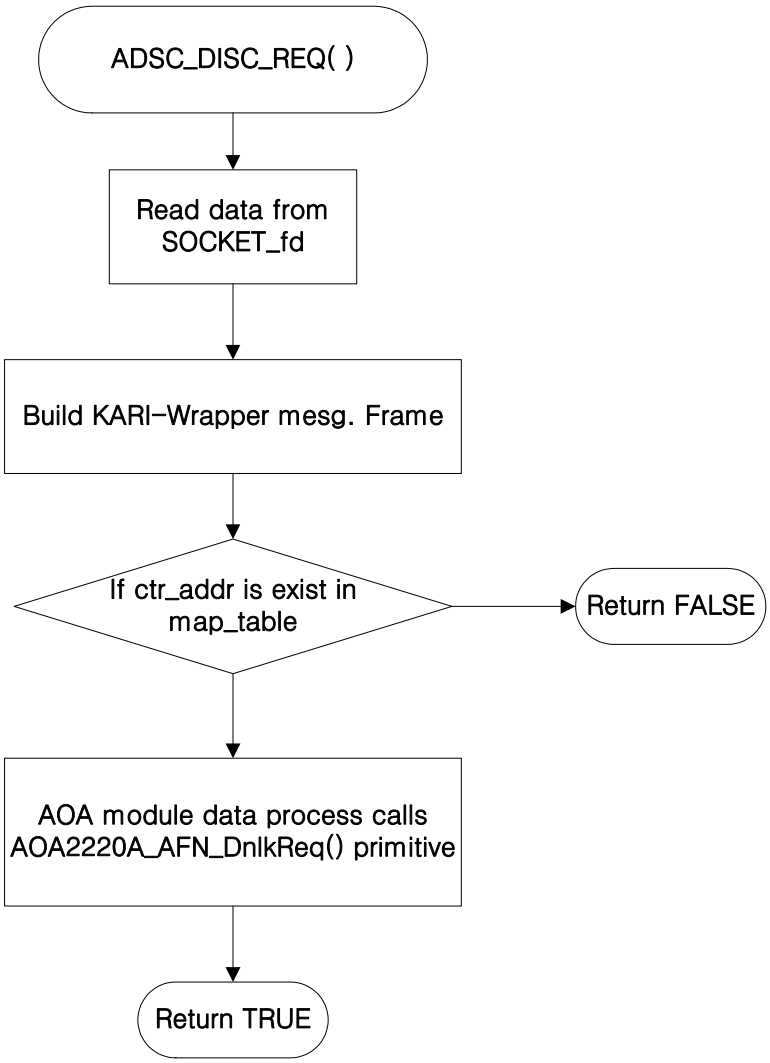
항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 ADSC 다운링크 메시지를 처리하는 부 함수로 socket으로부터 데이터를 읽어서 데이터를 변환한 후 해당하는 AOA 모듈 프리미티브를 호출하여 데이터를 전달하는 기능을 수행한다.



<그림 3-4-3-4> ADSC Downlink Function

(5) ADSC_DISC_REQ() 함수 순서도

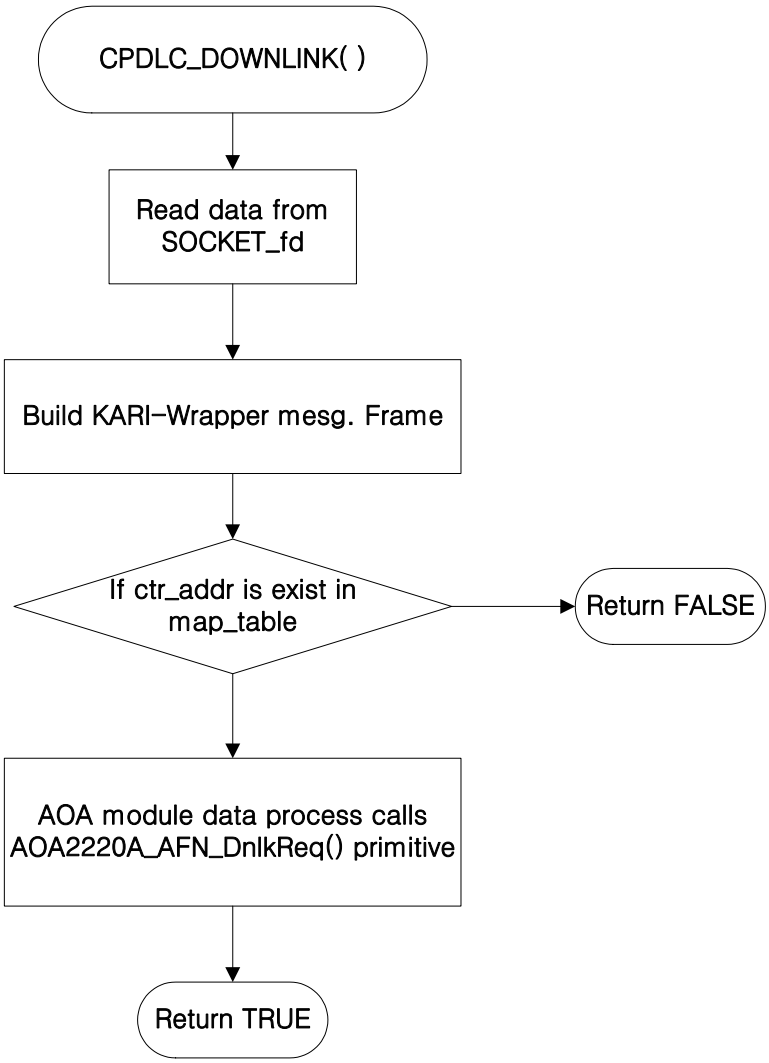
항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 ADSC Disconnect Request 요청 메시지를 처리하는 부 함수로 socket으로부터 데이터를 읽어서 데이터를 변환한 후 해당하는 AOA 모듈 프리미티브를 호출하여 데이터를 전달하는 기능을 수행한다.



<그림 3-4-3-5> ADSC Disconnect Request Function

(6) CPDLC_DOWNLINK() 함수 순서도

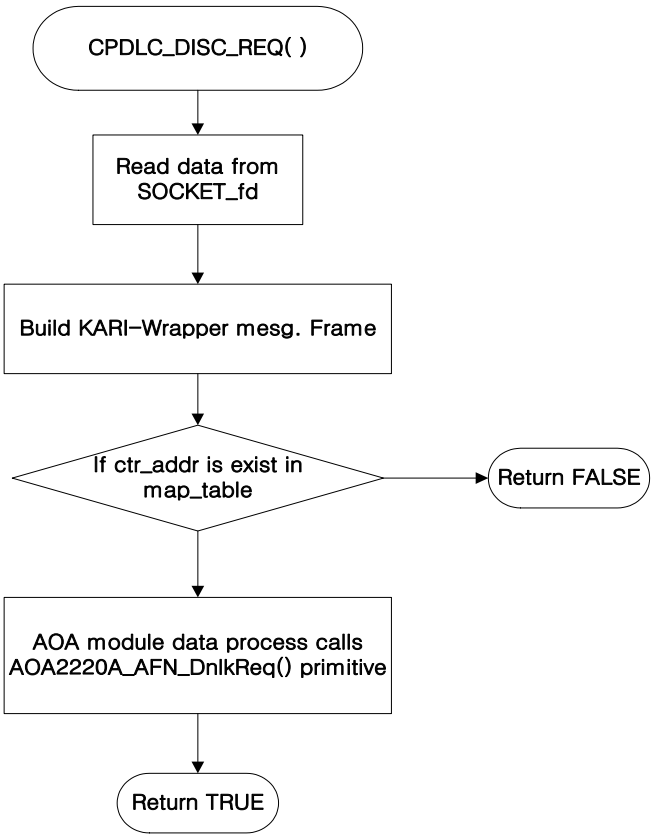
항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 CPDLC 다운링크 메시지를 처리하는 부 함수로 socket으로부터 데이터를 읽어서 데이터를 변환한 후 해당하는 AOA 모듈 프리미티브를 호출하여 데이터를 전달하는 기능을 수행한다.



<그림 3-4-3-6> CPDLC Downlink Function

(7) CPDLC_DISC_REQ() 함수 순서도

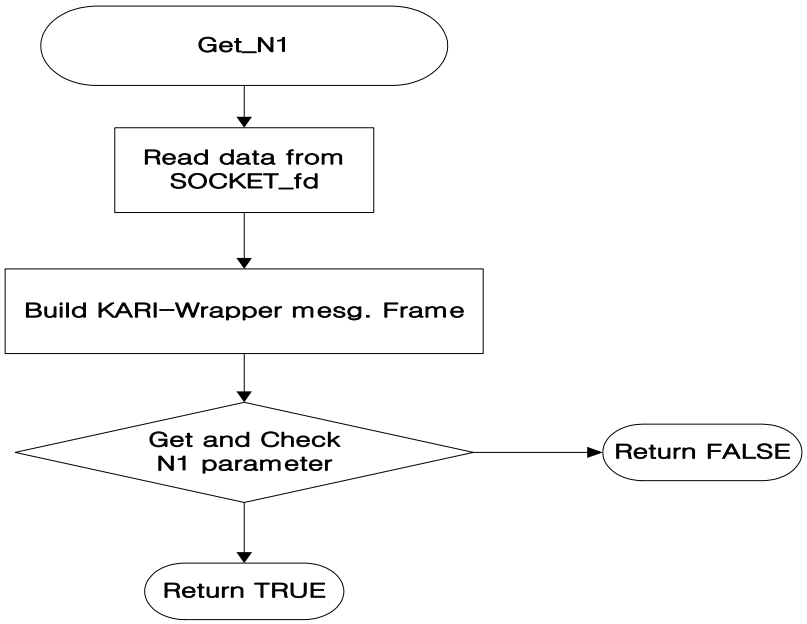
항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 CPDLC Disconnect Request 요청 메시지를 처리하는 부 함수로 socket으로부터 데이터를 읽어서 데이터를 변환한 후 해당하는 AOA 모듈 프리미티브를 호출하여 데이터를 전달하는 기능을 수행한다.



<그림 3-4-3-7> CPDLC Disconnect Request Function

(8) Get_N1 함수 순서도

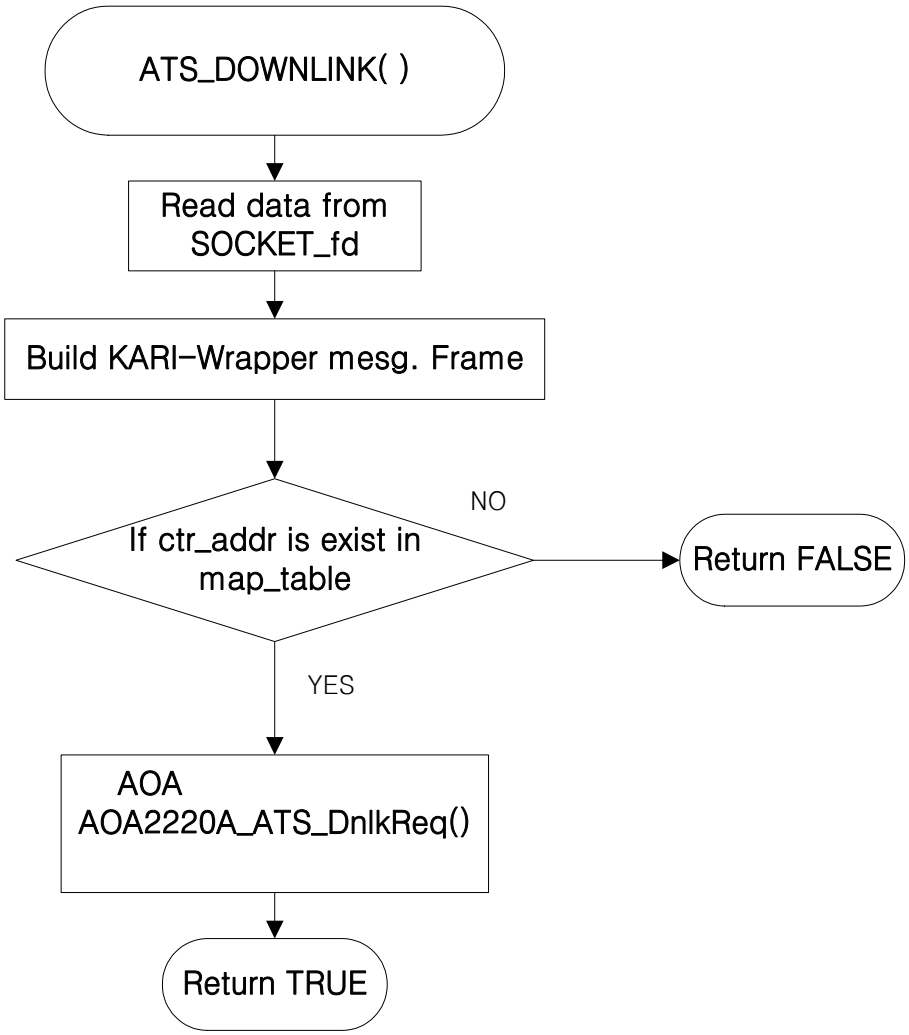
항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 N1 파라미터 획득 요청 메시지를 처리하는 부 함수로 항공기 탑재 VDR에서 N1 파라미터 값을 획득하여 다시 항공기 탑재 운용프로그램으로 전달하는 기능을 수행하는 함수이다.



<그림 3-4-3-8> Get_N1 Parameter Function

(9) ATS_DOWNLINK 함수 순서도

항공기 탑재 운용프로그램으로부터 수신한 PDC 서비스 요청 메시지를 처리하는 부 함수로 socket으로부터 데이터를 읽어서 데이터를 변환한 후 해당하는 AOA 모듈 프리미티브를 호출하여 데이터를 전달하는 기능을 수행한다.

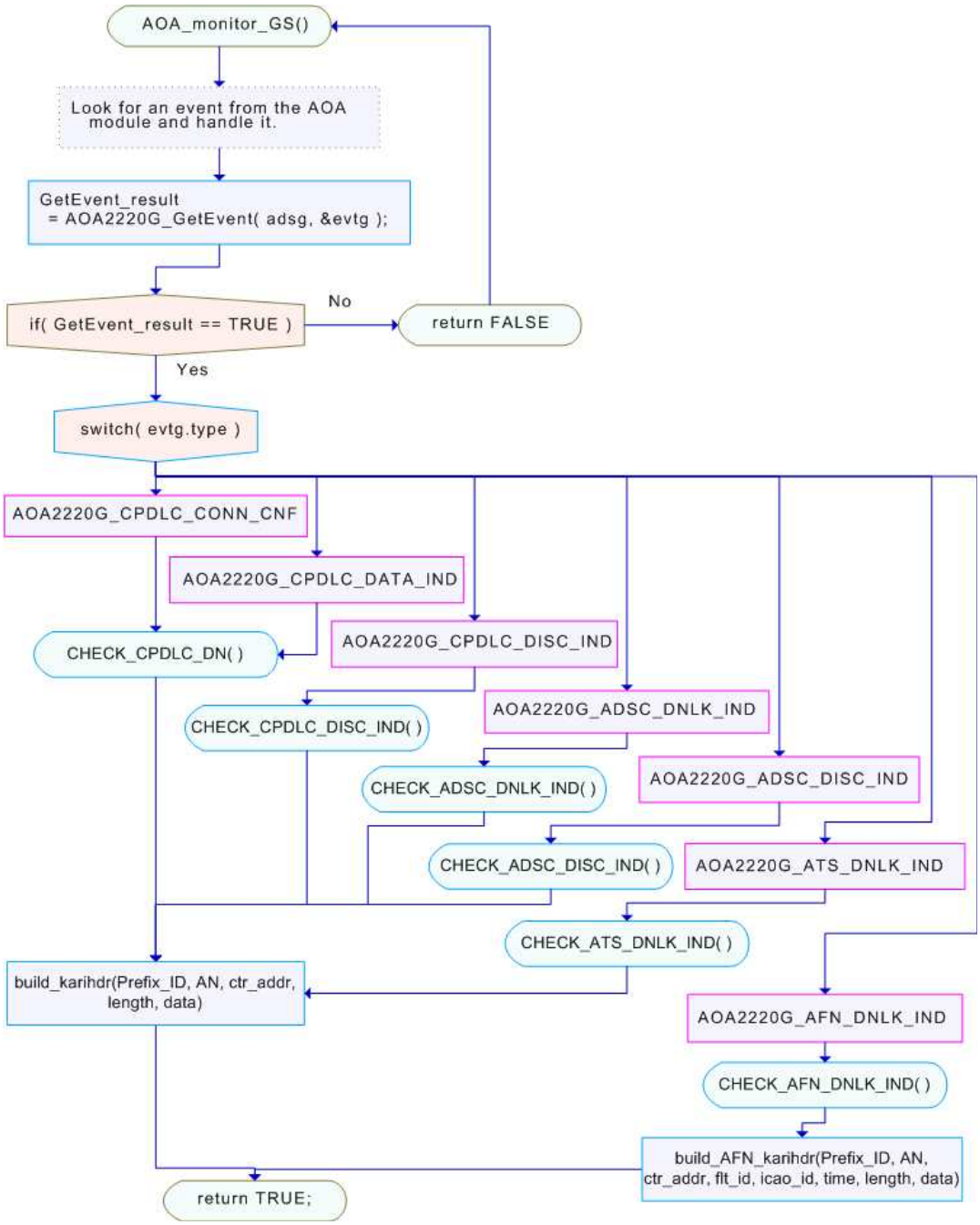


<그림 3-4-3-9> ATS Downlink Function

나. 지상국 KARI Wrapper 송수신 처리 함수 순서도

(1) AOA_monitor_GS()

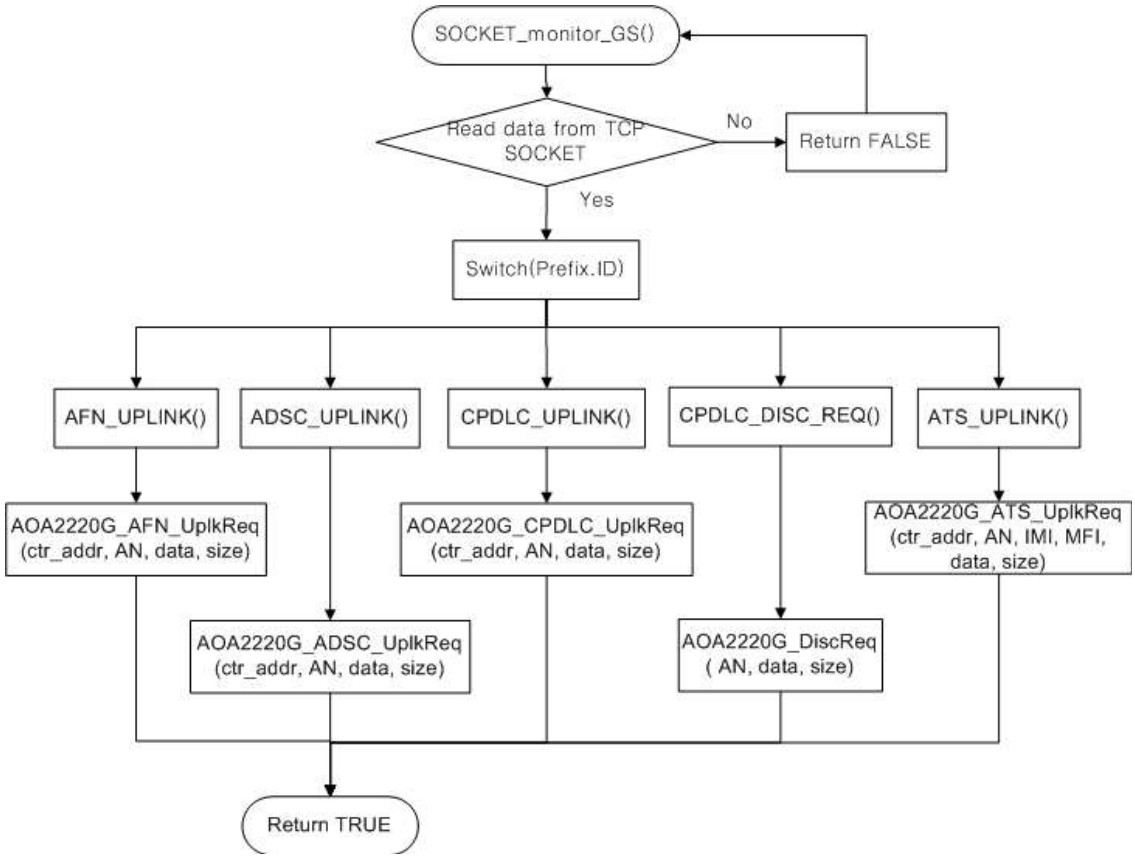
지상국 AOA-KARI Wrapper의 AOA 모듈 감시 및 Wrapper Frame 변환 및 송신 기능을 수행하는 함수로, 주기적으로 AOA 모듈에 수신데이터가 존재하는지 검사를 수행한다.



<그림 3-4-3-10> AOA Module Monitoring Function Flowchart (Ground Station)

(2) SOCKET_monitor_GS()

지상국 운용프로그램으로부터 TCP/IP 통신을 통하여 KARI Wrapper로의 데이터 수신 상태 감시 및 AOA 패킷으로 변환 및 송신 기능을 수행하는 함수이다.



<그림 3-4-3-11> SOCKET Monitoring Function Flowchart (Ground Station)

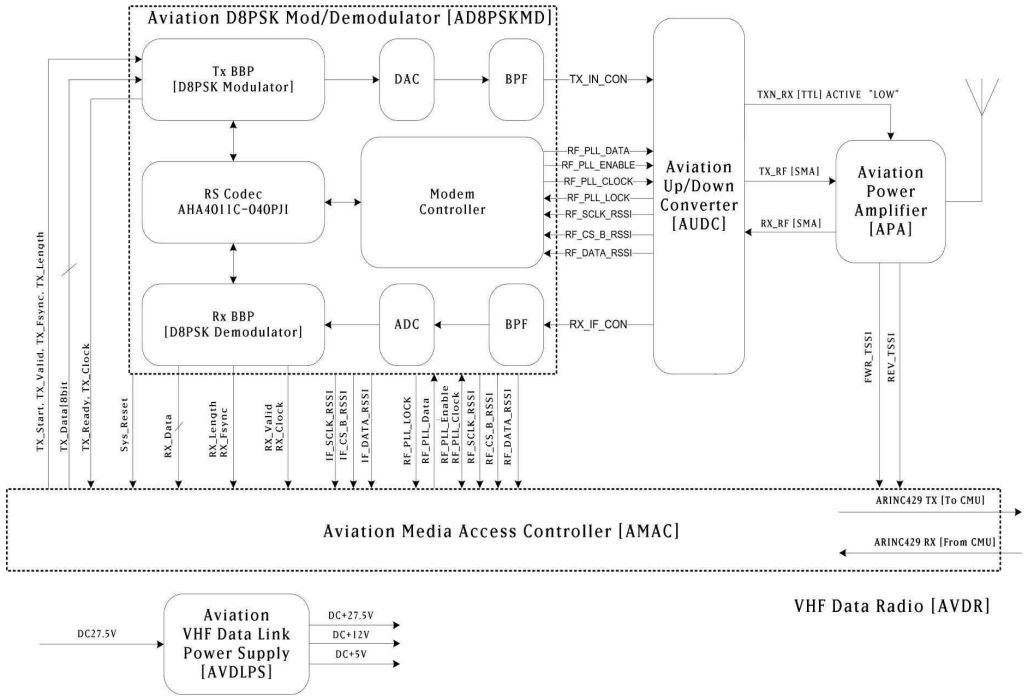
제 5 절 VDL M2 구성품 개발

1. 탑재송수신기(VDR) 개발

VDL Mode 2 시스템은 항공기와 지상관제소 사이에 데이터 통신을 위한 매개체의 역할을 수행한다. VDL Mode 2 통신시스템 구조는 오늘날의 아날로그 방식의 DSB-AM(Double Sideband-Amplitude Modulation) 와 비슷한 영역을 제공한다. VDL Mode 2는 위상이동변조 방식을 이용하여 디지털화된 패킷을 전송한다. VDL Mode 2는 현재 다수의 항공기가 사용하는 ACARS(Aircraft Communication Addressing and Reporting System) 성능을 증가시킨다.

VDL Mode 2 데이터 서브시스템은 ATN(Aeronautical Telecommunication Network) 서브시스템으로 설계되고, ISO(International Standards Orgaization)의 OSI(Open System Interconnection) 따라서 기본구성이 이루어진다. 항공기 라우터와 지상 ATN 망 라우터 사이의 일대일 데이터 통신은 ISO 8208 네트워크 인터페이스를 근간으로 VDL Mode 2 시스템으로 제공한다.

VDL Mode 2의 VDR(VHF Digital Radio)는 아래 <그림 3-5-1-1>과 같이 RF(Radio Frequency), Modem, MAC 영역으로 구성된다. RF영역은 무선데이터를 송수신하는 안테나, 송신고출력 증폭기, 상하향 주파수변환기로 구성되고, modem 영역은 베이스밴드의 신호를 수신하여 D8PSK 변복조를 수행하여 데이터 신호를 복원하거나 데이터 신호를 베이스밴드 신호로 보내준다. MAC 영역은 CMU와의 통신 프로토콜 전송업무를 담당하며, physical layer 이상과 인터페이스 및 각종 파라미터를 제공하는 기능을 수행한다.



<그림 3-5-1-1> 초단판 디지털 송수신기(VHF Digital Radio) 구성도

본 과제를 통해 제작되는 VDR 장비의 설계 사양은 아래 표에서 자세히 보여주고 있다.

<표 3-5-1-1> 초단파 디지털 송수신기 (VDR) 설계 사양

	항 목	설 계 사 양	비 고
송신	주파수	117.975~137MHz	항공용 주파수 대역
	송신출력	25W (+43.98dBm)	
	이득 안정도	오차 +20% ~ -40%	Watt 기준
	주파수 안정도	±5ppm	
	데이터 전송속도	31.5kbps ±0.005%	
수신	주파수	117.975~137MHz	
	수신감도	-98dBm @ 10^{-3}BER	
	동작영역	-98 ~ -7dBm	

가. 송수신기(물리계층)

(1) 고출력 증폭기

고출력 증폭기는 상향변환기로 부터 제공받은 신호를 고출력으로 안테나로 전송한다. 이때 상향변환기로 부터 117.395~137MHz, +0dBm RF신호를 수신하여 25W로 고출력으로 안테나를 통해 무선신호로 방출한다.

고출력 중폭기의 설계사양과 아래 <표 3-5-1-2>에서 자세히 보여주고 있다.

<표 3-5-1-2> 고출력 증폭기(PA) 설계 사양

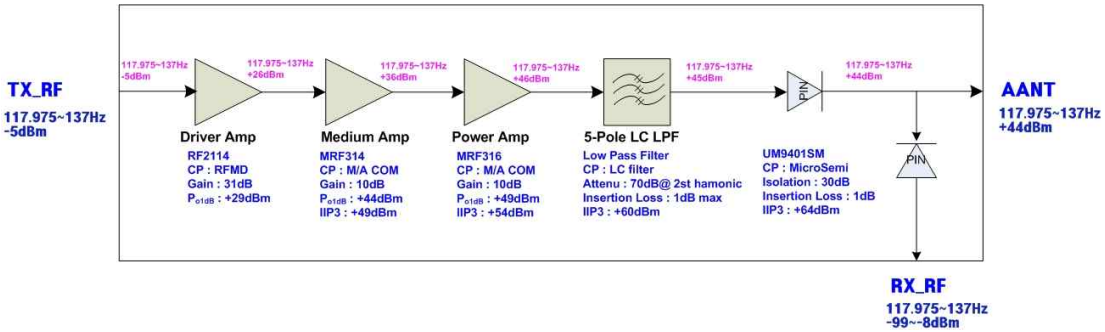
항 목	설 계 사 양
입력 주파수	117.975 ~ 137MHz
입력 전력	-5dBm
출력 주파수	117.975 ~ 137MHz
출력 전력	+43.98dBm (25W)
이득 안정도	±1dB max
주파수 안정도	1ppm max
송신신호세기(TSSI)	0 ~ 3V
송, 수신 Isolation	30dB min.

고출력 증폭기는 상향 주파수변환기로부터 입력받은 신호를 25W의 송신 출력을 제공되도록 증폭한다. 이때 사용되는 고출력 증폭기는 A급으로 동작점이 활성영역의 중간에 위치하여 선형성이 양호하고 항상 전력이 소모되어 전력효율성이 다소 떨어진다. D8PSK 변조되어 입력되는 신호는 시스템 전체의 선형성을 고려하여 0dBm 출력을 갖는다.

고출력 증폭기는 <표 3-5-1-3>와 같이 각 소자별 이득의 선형성을 유지할 수 있도록 4-5dB 정도의 마진을 갖고 설계하였다.

<표 3-5-1-3> 고출력 증폭기(PA) Budget 시뮬레이션

	초기값	Driver Amp	Ccd1	Medium Amp	Ccd2	Power Amp	Ccd3	5-Pole LPF	Ccd4	SPDT	Ccd5
Gain[dB]	0.00	31.00	31.00	10.00	41.00	10.00	51.00	-1.00	50.00	-1.00	49.00
Gain[linear]	1.00E+00	1.26E+03	1.26E+03	1.00E+01	1.26E+04	1.00E+01	1.26E+05	7.94E-01	1.00E+05	7.94E-01	7.94E+04
NF[dB]	0.000	7.000	7.000	7.000	7.003	7.000	7.003	1.000	7.003	1.000	7.003
NF[linear]	1.000	5.012	5.012	5.012	5.015	5.012	5.015	1.259	5.015	1.259	5.015
IIP3[dBm]		15.00	15.00	49.00	13.24	54.00	10.11	60.00	6.51	60.00	4.90
IIP3[linear]		3.16E+01	3.16E+01	7.94E+04	2.11E+01	2.51E+05	1.02E+01	1.00E+06	4.47E+00	1.00E+06	3.09E+00
1/IIP3[linear]			0.03		0.05		0.10		0.22		0.32
신호세기[dBm]	-5.00		26.00		36.00		46.00		45.00		44.00
신호세기[linear]	0.32		398.11		3981.07		39810.72		31622.78		25118.86



<그림 3-5-1-2> 고출력 증폭기 상세 구성도

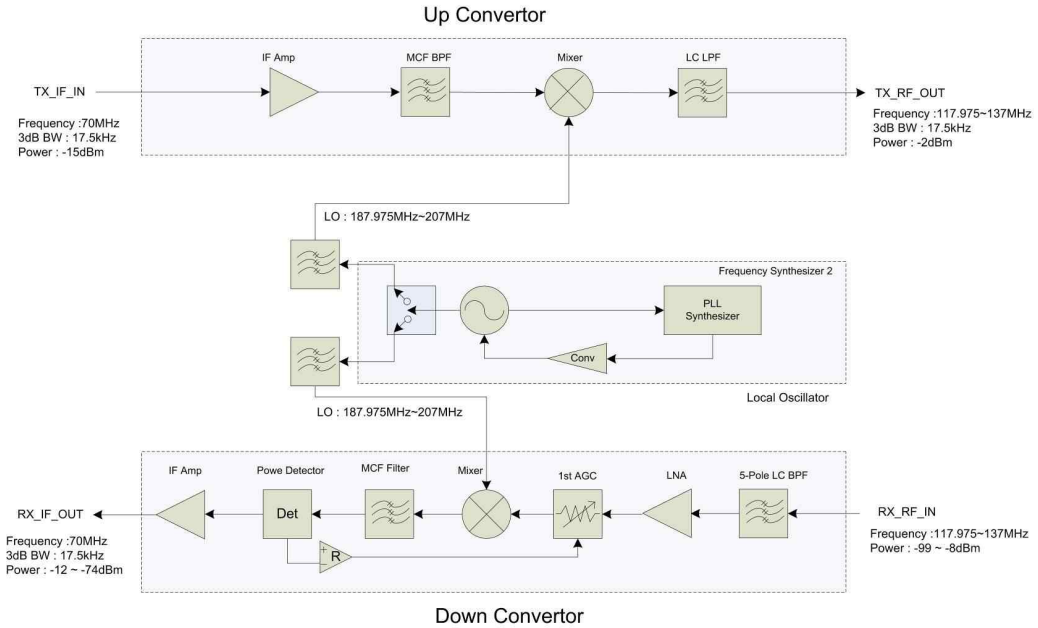
(2) 상하향 주파수 변환기

상하향 주파수 변환기는 수신신호를 70MHz의 IF 신호를 모뎀쪽으로 제공하며, 117.395~137MHz RF 신호를 고출력 증폭기로 보낸다. 또한 수신신호세기를 감지할 수 있는 회로가 내장되었다.

상하향 주파수 변환기의 설계사양은 아래표에서 자세히 보여주고 있다.

<표 3-5-1-4> 상하향 주파수 변환기(UDC) 설계 사양

	항 목	설 계 사 양
상향 변환기	출력 주파수 (RF)	117.975~137MHz, -10dBm
	입력 주파수 (IF)	70MHz, -15dBm
	이득 안정도 (Gain Flatness)	±1dB max
	주파수 안정도 (Frequency Stability)	1ppm max
	이득	10dB
하향 변환기	입력 주파수 (RF)	117.975 ~ 137MHz
	출력 주파수 (IF)	70MHz
	동작범위 (Dynamic Range)	-99 ~ -8dBm
	주파수 안정도 (Frequency Stability)	1ppm max
	잡음지수 (NF)	10dB max
	신호대 잡음비 (Es/No)	21.77dB max



<그림 3-5-1-3> 상하향 주파수변환기 블럭도

상하향 주파수변환기의 블록도는 <그림 3-5-1-3>와 같고, 상향 주파수변환기

는 70MHz의 중간주파수를 117.975~137MHz로 변환하는 역할을 하고, 하향 주파수변환기는 117.975~137MHz의 RF신호를 70MHz의 IF(Intermediate Frequency)로 변환하는 역할을 한다.

상하향 주파수변환기는 한 개의 국부 발진 주파수를 스위치를 사용하여 상향/하향 변환기 혼합부에 공급하며, 하향 주파수변환기는 자동이득 제어부가 내장되어 수신부 동작영역을 충분히 넓게 확보하였다. 하향 주파수 변환기의 증폭기는 잡음지수(Noise Figure)가 작고, 자동이득 제어에 의해 충분한 동작영역(Dynamic Range)이 확보될 수 있도록 이득 20dB, 잡음지수 2dB, IIP3 +10dBm인 부품을 선정하였다. 중간 주파수 대역에서 억압특성이 좋은 MCF(Monolithic Crystal Filter)을 사용하여 주파수 스퓨리어스 성분을 제거하고, 원하는 신호만 추출하였다.

하향 주파수 변환기는 D8PSK 복조기의 요구사항에 맞도록 잡음지수가 10dB 미만, Es/No가 21.77dB 이상으로 설계하였다.

<표 3-5-1-5> D8PSKMD의 복조기의 요구 Es/No

Eb/No@10^{-6}BER	13dB
Es/No (without Loss)	17.77dB
Imp.Loss + RC Loss	4dB
Es/No(with Loss)=SNR	21.77dB
KTo	-174dBm/Hz
Effective Noise Figure	10dB
Baud Rate (R)	40.21dBHz
No*R	-28.79dBm
Required Receiver Input	-103dBm

초단 대역통과 필터는 대역외의 간섭조건과 FM 방송 주파수에 의한 혼변조를 방지하기 위해 사용하였다. 하향 주파수 변환기는 -99~-8dBm의 동작 영역을 만족해야 한다. 실제로 VDR(Aviation VHF Data Radio)의 동작영역은 -98~-7dBm이다. APA (Aviation High Power Amplifier)의 SPDT 스위치에서 1dB의 손실이 발생하기 때문에 하향 주파수 변환기는 동작영역이 AVDR 보다 1dB 낮다.

혼합기의 잡음지수=12dB 이므로, 저 잡음 증폭기는 이득이 20dB인 증폭기를 사용해야만 최대한의 잡음지수를 확보할 수 있다. 반면 저잡음증폭기의 이득이 증가하면, VDR이 요구하는 동작영역(Dynamic Range)을 첫 번째 혼합기에서 확보하기 어렵다. 그래서 아날로그 감쇄기를 사용한 자동이득 제어회로를 추가하여 큰 신호가 입력될 때 혼합기가 포화되는 것을 방지한다.

VDR의 상향 변환기는 D8PSK 변조방식을 사용하기 때문에 선형성이 중요한 요소이다. 그렇기 때문에 각 증폭기는 P1dB에서 4~5dB 이하의 선형구간을 사용해야한다. 상향 변환기의 전체 이득은 다음과 같다.

$$G(total) = G1 + G2 + G3 + ... = 10dB \quad (3\text{-}5\text{-}1)$$

채널 폭이 25kHz, 온도 20℃, 입력 신호 크기를 -20dBm이라 할 때, 출력전력은 +0dBm이다.

송신기 전체 잡음지수는 다음과 같다.

$$NF = NF1 + \frac{NF2 - 1}{G1} + \frac{NF3 - 1}{G1 \times G2} + ... = 3.223dB \quad (3\text{-}5\text{-}2)$$

스퓨리어스 방사 기준을 만족하기 위해서는 한 번의 상향 변환이 타당하다. 중간 주파수는 고출력 증폭기 뒷단의 대역통과필터에서 누설된 국부발진기의 누설성분을 제거할 수 있는 대역을 선정해야 한다. 반이중통신방식에서 상향 주파수 변환기와 하향 주파수 변환기가 동일한 국부 발진기를 사용하는 것이 유리하기 때문에 중간 주파수를 70MHz로 설정하였다.

주파수 합성부는 상향 변환기와 하향변환기의 국부 발진주파수를 공급한다. 주파수 합성부는 상향 변환기와 하향변환에 사용되는 187.975MHz~207MHz를 합성한다.

전압제어발진기(VCO)는 Mini-Circuit사의 ROS-244+을 사용하였으며, 위상잡음(Phase Noise)은 -97dBc@1kHz offset의 특성을 갖는다. 전압제어 발진기의 중요한 파라미터는 위상잡음과 선택도(Sensitivity)이다.

전압제어 발진기의 제어 전압은 2~16V의 범위를 가지며, 6MHz@1V의 선택도

를 갖는다.

(3) D8PSK 변복조기

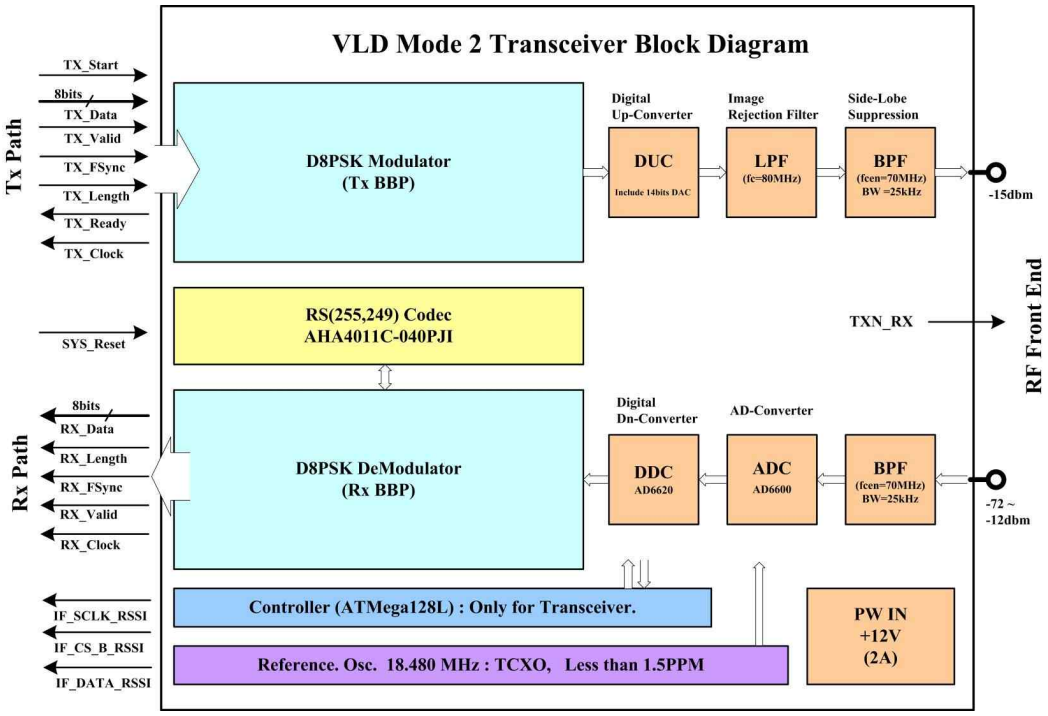
<표 3-5-1-6> D8PSK 변조기 설계 사양

항 목	설계 사양	비 고
IF Frequency	70.000 MHz	Fixed
IF Output Power	-15 dBm	Channel Power
Channel Bandwidth	25 kHz	(1+α)×10,500 = 16.8 kHz + β
Frequency Tolerance	±2 PPM	TCXO : 18.480 MHz, ±1.5 PPM
Modulation Type	D8PSK	
Channel Filtering	Raised Cosine	
Excess Bandwidth	α = 0.6	
Bit Rate	31,500 Bits/sec	10,500 Symbols/sec ±0.002%
Symbol Constellation Error	Max. 6 %	EVM
Error Control Code (FEC)	RS Code	RS(255,249), t = 3bytes

<표 3-5-1-7> D8PSK 복조기 설계 사양

항 목	설계 사양	비 고
IF Frequency	70.000 MHz	Fixed
IF Input Power Range	-74~-12 dBm	50 dB
Channel Bandwidth	25 kHz	(1+α)×10,500 = 16.8 kHz + β
Channel Filtering	Low Pass Filter	fc = (1+α)/2Ts = 8.4 kHz + β
Frequency Capture Range	± 960 Hz	Doppler + Tx Freq. Error
Bit Rate	31,500 Bits/sec	10,500 Symbols/sec ±0.002%
Sensitivity for 0.001 BER	Min. -98 dBm	
Error Control Code (FEC)	RS Code	RS(255,249), t = 3bytes

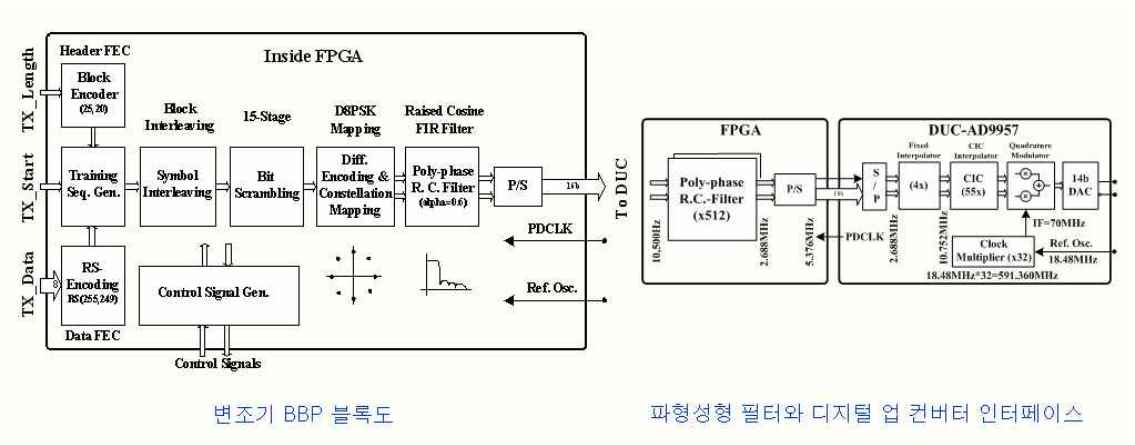
<표 3-5-1-6>와 <표 3-5-1-7>은 D8PSK 변복조기의 설계 사양을 명시 한 것이다. 변조기의 IF 주파수는 70 MHz이고, 변조 형식은 D8PSK 방식이며, 채널 필터로 Raised Cosine 필터(Alpha=0.6)를 사용한다. 변조기 설계 시 송신 스펙트럼 특성에 중점을 둔다. 복조기의 IF 주파수는 70 MHz이고, 채널 필터로는 일반 저역 통과 필터를 사용한다. 복조기 설계 시 수신감도는 -98 dBm을 만족하도록 하고, 도플러 효과 및 송신 반송파 주파수의 에러를 포함하여 ±960 Hz까지의 주파수 차이(Frequency Offset)를 추정하고 보상할 수 있는 능력을 갖도록 설계한다.



<그림 3-5-1-4> D8PSK 변복조기 전체 구성도

변복조기 시스템(D8PSKMD)은 하나의 보드 형태로 송신과 수신이 가능하도록 설계한다. 송신측은 D8PSK 변조 방식에 맞게 메시지 비트를 부호화하고 디지털 필터링 과정을 통해 송신 대역을 제한하며, 디지털 업 컨버터(DUC)를 거쳐 최종 중간 주파수 신호(IF Signals)를 생성한다. 수신측은 수신된 중간 주파수 신호를 AD 변환(Under-Sampling or IF sampling)하고 디지털 다운 컨버터(DDC)를 통해 기저 대역 신호로 변환된 후 최종 베이스 밴드 프로세서(BBP)를 통해 송신한 원래의 메시지를 복원하는 기능을 한다.

본 변복조기의 I/O 신호들 중에서 데이터를 입출력하기 위한 클록은 변복조기(D8PSKMD)에서 상위 계층(MAC)에 제공한다는 것에 주의한다.



<그림 3-5-1-5> D8PSK 변조기 상세구성도

(가) D8PSK 변조기

변조기의 내부 구성 및 주요 기능 블록은 <그림 3-5-1-5>와 같이 다소 복잡한 형태로 되어 있다. 각각의 블록들에 대한 기능과 설계 방법을 데이터의 흐름순서로 기술한다.

① Training Sequence Generating

VDL 모드-2 송수신기는 버스트 모드로 동작하도록 되어 있다. 버스트 모드 통신은 반드시 전송 프레임의 시작점을 수신기가 알 수 있도록 훈련신호(Training Sequence) 또는 싱크 워드(Synch Word)를 데이터 스트림에 포함 시켜야 한다. 훈련신호의 구성은 송신 출력 신호의 안정화와 수신기의 자동 이득 조절 장치(AGC)의 정상적인 동작을 위한 영 심벌(3심벌), 수신기의 동기 획득과 프레임 시작점을 알려주는 유닉 워드(16심벌), 전송되는 프레임의 길이를 알려주는 길이필드(20비트) 및 길이필드의 오류를 수정하는 FEC ECC 비트(5비트) 등 총 82비트로 구성되어 있다.

② Length Field Block Encoding

송신기는 수신기에서 RS FEC의 블록 길이를 알 수 있도록 길이 정보를 송신

하는데 전송과정에서 발생하는 오류를 정정하기위하여 부호화 한다. 오류정정능력은 1 비트이다. '000' 비트를 포함한 길이비트(20비트)는 Linear Block Code (25, 20)의 부호화기를 통해 25비트로 부호화된다. 아래의 내용은 여기에 사용되는 부호화기의 수식이다.

[P1,...,P5] = [R1,R2,R3,TL1,...,TL17]$\mathbb{P}^{\mathbb{T}}$ (3-5-3)

where :

P is the parity Bits. (P1 shall be transmitted first.)

R is the reserved symbol.

TL is the transmission length Bits.

(*) T is the matrix transpose function.

$$\mathbb{P} = \begin{pmatrix} 00000000111111111111 \\ 00111111000011111111 \\ 11000111001100001111 \\ 11011011010100110011 \\ 01101001111001010101 \end{pmatrix}$$: $\mathbb{P}$ is Parity Matrix

$\mathbb{G} = [\mathbb{I}_k \mid \mathbb{P}^{\mathbb{T}}]$: $\mathbb{G}$ is Generator Matrix

$c = m\mathbb{G} = [m_1 m_2 \cdots m_k | p_1 p_2 \cdots p_{n-k}]$: c is Code Word (25비트)

$\mathbb{H} = [\mathbb{P} \mid \mathbb{I}_{n-k}]$: $\mathbb{H}$ is Parity Check Matrix

Data Field Reed-Solomon Encoding

③ Block Interleaving

전단에서 부호화된 옥텟은 FEC 복호 성능을 향상시키기 위하여 블록 인터리버로 인터리빙 된다. 인터리버의 구조는 행(row)과 열(column) 형태이고, 행 당 255 옥텟(바이트)을 가지며 열(column)의 개수는 다음과 같이 계산된다.

$c = Ceiling[Transmission\,Length/1992bits]$
‡The maximum value of (c) shall be 66. (3-5-4)

인터리빙 방법은 249바이트 단위로 부호화된 255 바이트를 가로(좌에서 우로) 방향으로 메모리에 기록(옥텟들의 첫 번째 비트를 8번째 비트 위치에 저장)하여 세로(위에서 아래) 방향으로 읽고, 옥텟들의 MSB(8번째 비트)부터 출력되어 스크램블러에 전달된다. (단, 모든 지워진(erasures) 옥텟들과 채워진 비트(all fill bits)들은 빼고 읽는다.)

길이필드 17-비트로부터 열(column)의 개수를 FPGA에서 구현하는 것은 그리 간단하지 않다. 왜냐하면 나눗셈을 해야 하기 때문이다. 최대열의 개수는 66이므로 7-비트로 표현할 수 있다. 다음 식은 길이 필드에서 열의 개수를 구하는데 필요한 나눗셈을 “Right-Shift and Add” 방식으로 구현하기위한 이진 표현식이다.

$$\frac{1}{1992} = 2^{-11} + 2^{-17} + 2^{-18} + 2^{-19} + 2^{-22} + 2^{-23} + 2^{-26} + 2^{-29} + 2^{-30} + 2^{-36} + 2^{-38} + 2^{-41}$$

위 식은 길이필드 17비트를 1992로 나누어 열의 개수를 구하는데 필요한 식이다.

$$\frac{1}{249} = 2^{-8} + 2^{-14} + 2^{-15} + 2^{-16} + 2^{-19} + 2^{-20} + 2^{-23} + 2^{-26} + 2^{-27} + 2^{-33} + 2^{-35} + 2^{-38}$$

위 식은 길이필드 17비트를 8로 나누어 길이필드를 바이트 단위로 한 후 249로 나누어 열의 개수를 구하는데 필요한 식이다.

두 식 모두 동일한 결과를 얻을 수 있지만 본 설계에서는 두 번째 식을 이용한다. 그 이유는 첫 번째 식에 비해 두 번째 식이 덧셈을 하는데 필요한 비트수가 3비트 적기 때문이다. 또한 시뮬레이션 결과 열의 개수를 구하는데 올림(ceiling) 연산을 수행하기 때문에 두 번째 식을 아래 식과 같이 계산하여도 됨을 확인하였다.

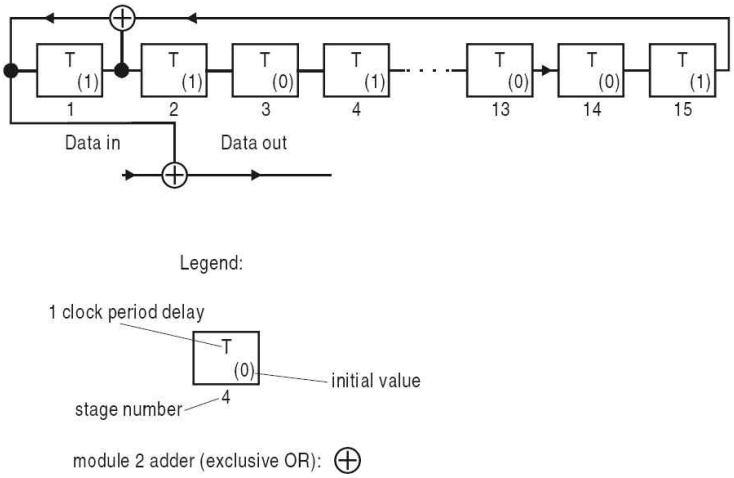
$$\frac{1}{249} \approx 2^{-8} + 2^{-14} + 2^{-15} + 2^{-16} + 2^{-19} + 2^{-20}$$

아래식은 8비트 단위 데이터를 3비트의 심벌 개수를 구하는데 이용된다.

$$\frac{1}{3} \approx 2^{-2} + 2^{-4} + 2^{-6} + 2^{-8} + 2^{-10} + 2^{-12} + 2^{-14} + 2^{-16} + 2^{-18}$$

④ Bit Scrambling

송신 스펙트럼 출력 특성을 좋게 하고 수신기의 심벌 클록 재생성에 도움을 주기위하여 인터리빙된 비트들은 다음과 같은 스크램블러를 통해 스크램블링 되어진다.



<그림 3-5-1-6> 스크램블러의 구조

특성 다항식(characteristic polynomial)은 G = 1 + X1 + X15이고, Unique Word를 제외한 모든 비트는 스크램블 된다. 여기서 초기값 “110100101011001”이 스크램블러의 레지스터에 채워지고 인터리빙된 비트와 더해짐과 동시에 한 비트씩 오른쪽으로 이동함으로써 스크램블 되어진다.

⑤ Differential Encoding

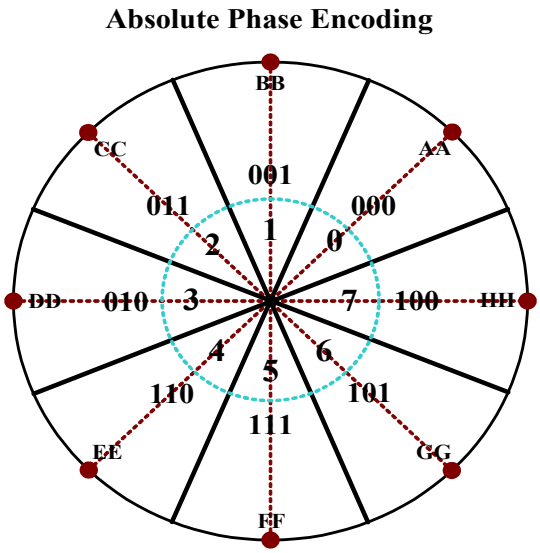
스크램블된 비트들은 3비트씩 그룹 지워져 부호화된다. 아래 그림에서 나중에 들어온 비트가 Zk이고, $\triangle\phi_k$는 현재 위상에서 다음 위상으로 천이하는 증분이다. 부호화 과정은 아래 수식과 같이 수행되며, 단지 입력된 비트가 모두 영일 경우만 위상 변화가 없다. 나머지 경우에는 항상 위상이 천이된다.

$$\phi_k = \phi_{k-1} + \Delta\phi_k \qquad (3\text{-}3\text{-}5)$$

<표 3-5-1-8> 차동 부호화 표

X_k	Y_k	Z_k	$\Delta\phi_k$
0	0	0	0 π / 4
0	0	1	1 π / 4
0	1	1	2 π / 4
0	1	0	3 π / 4
1	1	0	4 π / 4
1	1	1	5 π / 4
1	0	1	6 π / 4
1	0	0	7 π / 4

⑥ Symbol Mapping



<그림 3-5-1-7> Absolute Phase Encoding

디퍼렌셜 인코딩된 심벌은 <그림 3-5-1-7>와 같이 그 위치가 정해져 있다. 각 위치는 단지 5개의 레벨(0, ±1, ±0.7071)로 표현할 수 있다. 위 그림에서 팔진수는 부호화된 비트들의 자리(또는 증분)를 나타내며, 이진수는 그의 그레이 코드(gray code)이다. 성좌도에서 이웃한 자리와는 단지 1 비트만 다르므로 수신시 에러는 대부분 이웃한 자리에서 발생하기 때문에 에러발생시 하나의 심벌(3비트)에서 하나의 비트만 틀리게 된다.

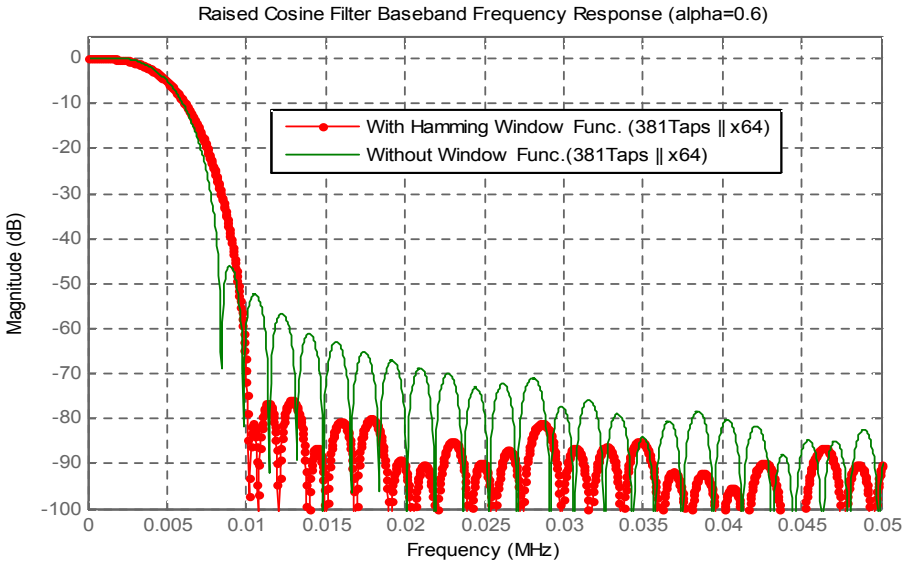
다음은 디퍼렌셜 인코딩에 대한 VHDL 표현이다. 입력된 3비트의 메시지들을 그레이 코드로 간주하고 바이너리 코드(증분)로 변환하여 이전의 부호에 현재의 바이너리 코드(증분)를 더하면 된다. (그레이 코드는 가감산을 할 수 없다.)

⑦ Raised Cosine Filtering

VDL 모드-2에서 변조기는 채널 필터로 Raised Cosine 필터를 사용하며 알파는 0.6이다. 하지만 수신기에서는 본 필터를 사용하지 않는다. 다음 수식은 그의 임펄스 응답을 나타낸다.

$$h(t) = \frac{\left(\frac{\sin\left(\frac{\pi t}{\mathbb{T}_S}\right)}{\frac{\pi t}{\mathbb{T}_S}}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \alpha t}{\mathbb{T}_S}\right)}{1 - \left(\frac{2\alpha t}{\mathbb{T}_S}\right)^2}, \; 0 \le \alpha \le 1 \qquad (3\text{-}5\text{-}5)$$

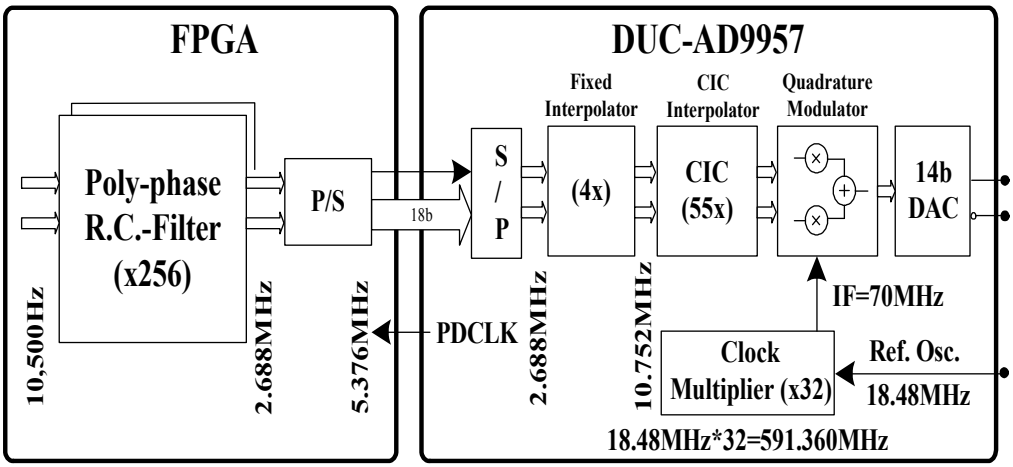
<그림 3-5-1-8>은 임펄스 응답에 윈도함수를 적용한 경우와 그렇지 아니한 경우의 특성을 비교한 것이다. 윈도함수(Hamming)를 적용한 경우가 훨씬 더 사이드 로브 억압 특성이 뛰어남을 볼 수 있다. 또한 윈도함수를 적용함으로써 대역폭이 약간 증가하는 경향도 확인이 가능하다. 본 설계에서는 사이드 로브 억압 특성이 좋은 윈도함수를 적용한 Raised Cosine 필터를 채널필터로 사용한다.



<그림 3-5-1-8> Raised Cosine 필터의 기저 대역 주파수 응답

⑧ Digital Up-Converting

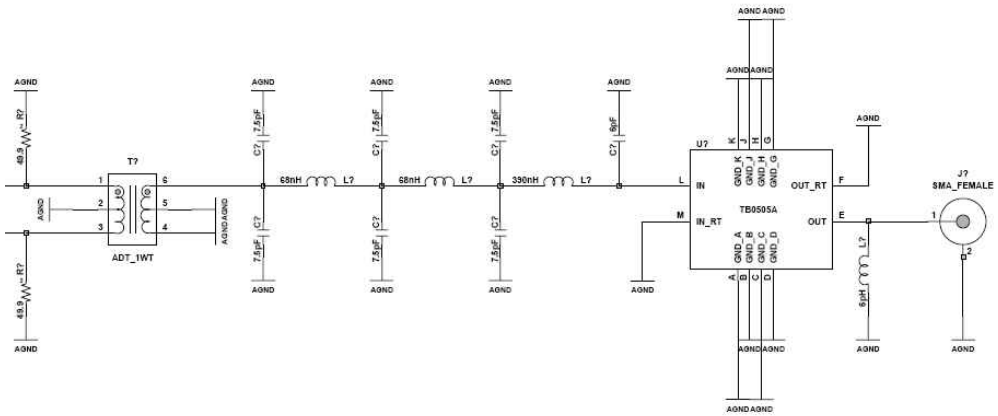
대역 제한된 신호(after RC filtering)는 디지털 변조기를 통과하여 최종 IF 신호로 변환된다. 디지털 변조기의 내부는 <그림 3-5-1-9>와 같이 클록 합성기, Fixed x4 Interpolator, variable CIC filter, Quadrature Modulator, 14비트 DAC 등으로 구성되어 있다.



<그림 3-5-1-9> 디지털 업 컨버터의 구조

⑨ Analog Image Rejection Filtering

DA 변환 과정에서 수반되는 이미지 성분을 제거하기 위해 저역 통과 필터를 사용한다. 본 설계에서는 f_{sys} = 591.360MHz이고, f_{IF} = 70 MHz이므로 이미지 성분은 140 MHz와 1 GHz 대역 부근에서 발생하기 때문에 저역 통과 필터의 차단 주파수를 100 MHz로 정한다. <그림 3-5-1-10>은 DAC 출력에 연결될 저역 통과 필터의 회로도이다.



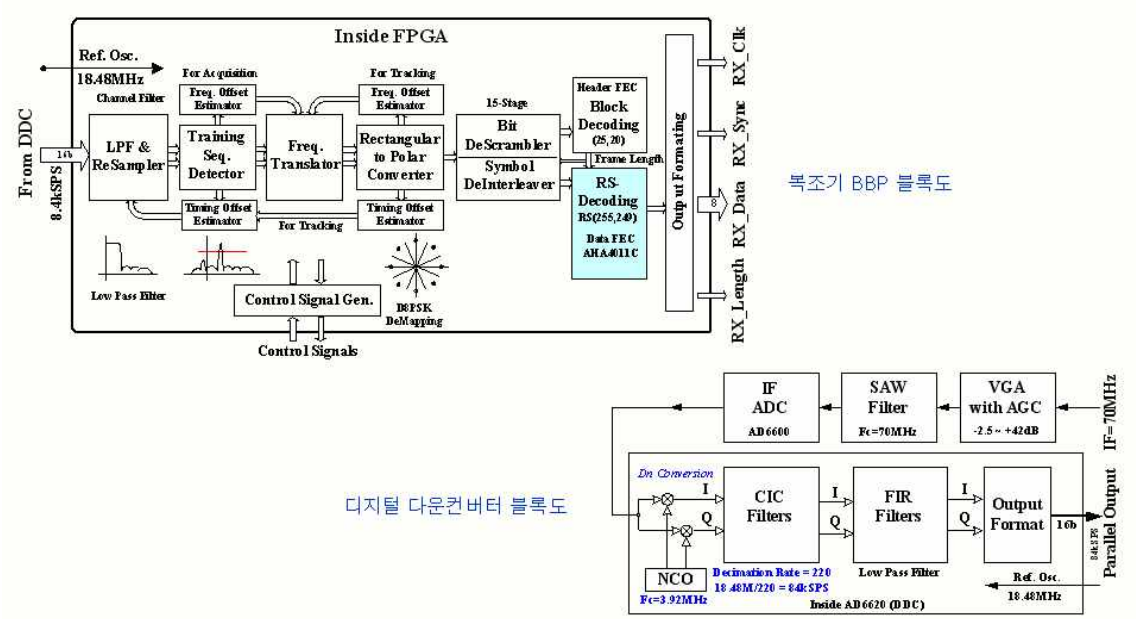
<그림 3-5-1-10> 이미지 제거용 저역 통과 필터

⑩ Band Pass Filtering

저역 통과 필터의 다음 단에는 대역 외 하모닉 성분과 스퓨리어스 성분 등을 제거하기위해 대역 통과 필터를 사용한다. 본 설계에서는 중심 주파수가 70 MHz이고, 대역폭이 ±25 kHz인 협대역 BPF를 사용한다.

(나) D8PSK 복조기

D8PSK 복조기의 구성도는 <그림 3-5-1-11>에서 보여주고, 변조기에 비해 그 구조가 훨씬 복잡하다. 각각의 블록들에 대한 기능과 설계 방법을 데이터의 흐름 순서로 기술한다.



<그림 3-5-1-11> D8PSK 복조기 상세구성도

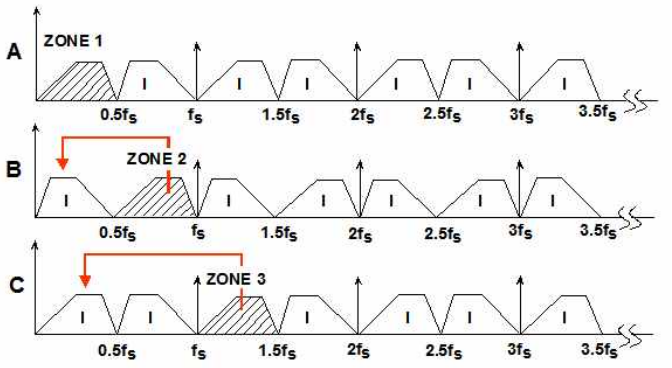
① Band Pass Filtering

수신된 IF 신호는 원하는 대역의 신호만을 취하기 위해 대역 통과 필터(BPF)를 사용한다. 본 설계에서 사용하는 BPF는 중심 주파수가 70 MHz이고 대역폭이 ±25 kHz인 협대역 필터를 사용 한다.

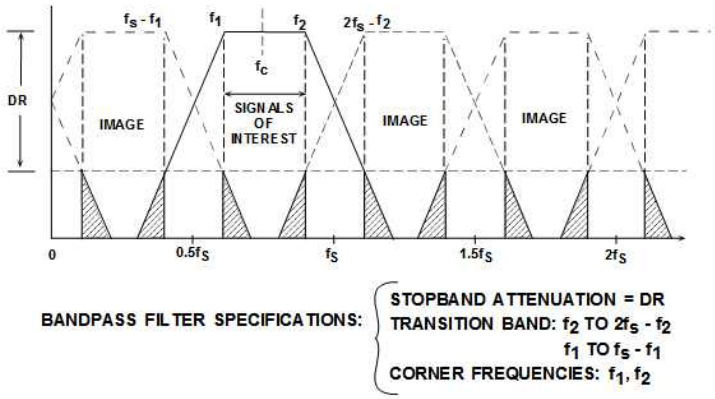
② AD Converting

대역 통과된 아날로그 IF 신호를 베이스 밴드 신호로 변환하기 위해 디지털 IF ADC를 사용한다. <그림 3-5-1-12>은 원하는 신호대역 보다 샘플링 주파수 낮을 경우 즉 undersampling의 경우에 alias signal이 첫 번째 나이퀴스트 영역으로 주파수 이동이 되는 현상(image signal)을 보여주는 그림이다. 그리고 짝수 번째 나이퀴스트 영역은 스펙트럼이 반전된다는 점에 주의해야 한다. undersampling 기법 적용 시에 주의 점은 모든 나위퀴스트 영역의 신호가 첫 번째 나이퀴스트 영역으로 폴딩-백 되기 때문에 원하는 나이퀴스트 영역외의 신호를 제거하기 위해 대역통과 필터를 사용해야 한다는 것이다. 일반적으로 antialiasing filter는 억압특성이 좋은 SAW 필터를 2단 종속접속(cascade)하여 사용한다. <그림 3-5-1-13>은 antialiasing filter의 억압특성을 완화시키는 방법으로 샘플링 레이트를 적절히 선정하여 원하는 나이퀴스트 영역에서 중심주파수(IF)의 위치를 가운데로 위치시키는

방법을 보여준다. 다시 말하면 undersampling 방법을 적용하기 위해서는 적절한 샘플링 레이트의 선택이 중요함을 의미한다.



<그림 3-5-1-12> Undersampling and Frequency Translation Between Nyquist Zones



<그림 3-5-1-13> Antialiasing Filter for Undersampling

③ Digital Down-Converting

언더 샘플링 결과 3.92MHz 대역의 신호를 기저 대역 신호로 변환하기 위해 아래 그림과 같은 디지털 복조기(DDC)를 사용한다. 디지털 복조기의 주요 기능 블록으로는 기저대역 신호로 하향 변환하는 Digital Quadrature Demodulator, 샘플링 레이트를 낮추는 CIC decimating filter, 이미지 성분 제거와 원하는 대역으로 제한하는 LPF 등이 있다.

④ Training Sequence Detecting

기저대역 신호로부터 메시지를 복원하기 위해서 가장 먼저 수행하는 것은 훈련 신호를 검출하는 것이다. 검출한 훈련 신호를 이용하여 다음 절에서 기술하는 샘플링 타이밍 추정과 주파수 오프셋 추정 등 복조에 필요한 전반적인 기본 작업을 수행한다. 훈련신호를 검출하기위해 상관기(correlator)를 사용하며 상관 값의 크기는 주파수 오프셋이 증가함에 따라 감소하기 때문에 한 개의 상관기만으로는 훈련신호 검출에 문제가 있다. 본 설계에서는 여러 개의 상관기들을 병렬 사용하여 주파수 오프셋 ±960 Hz까지 포착 가능한 훈련신호 검출기를 설계한다.

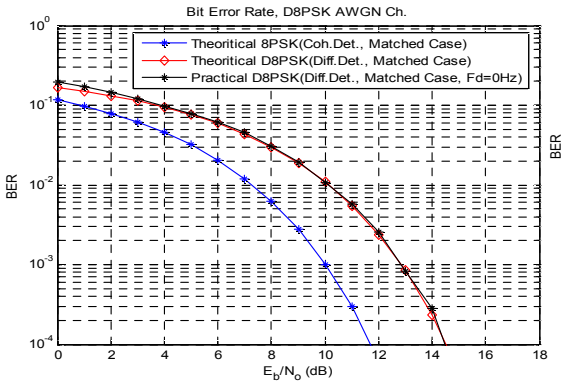
⑤ Symbol Timing Estimation and Tracking

상관기 들 중 상관 값이 가장 큰 상관기의 출력으로부터 초기 심벌 타이밍 정보를 추출하고 타이밍 오프셋을 보상한다. 훈련신호 다음의 데이터 심벌에 짧은 순간 동안은 훈련신호로부터 얻은 타이밍 정보를 이용할 수 있지만, 나머지 심벌들까지 심벌 타이밍을 유지하기 위해서는 추적하는 능력이 필요하게 된다. 이렇게 심벌 타이밍을 추적(tracking)하기 위해서는 데이터 심벌에서 타이밍 오프셋 정보를 찾아야 한다. 본 설계에서는 초기 심벌 타이밍을 획득하는 기능과 유지하기위한 추적 기능을 겸비하도록 설계한다.

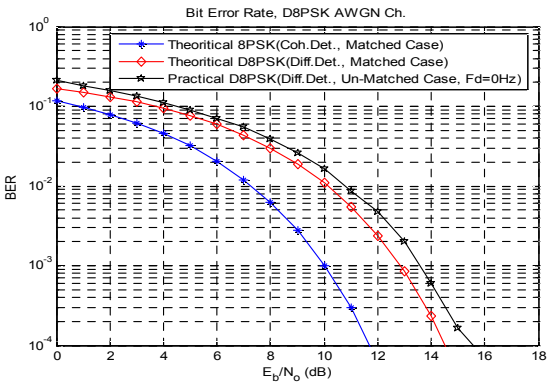
최대 전송 버스트 시간 : (16+ 25/3 + 255*66*8/3)/10,500 = 4.277 sec

⑥ Frequency Offset Estimation and Tracking

D8PSK 변조 방식에서 BER 성능은 반송파의 위상 오프셋에 대한 영향은 미약하나, 주파수 오프셋에 대해서는 상당히 민감한 결과를 보인다.



<그림 3-5-1-14> 정합된 경우의 비트오율



<그림 3-5-1-15> 비 정합된 경우의 비트오율

<그림 3-5-1-14>은 송수신기에 Root Raised Cosine 필터를 사용한 경우(정합된 경우)로 이론 치와 거의 유사한 비트오율(BER)을 보인다.

<그림 3-5-1-15>은 송신측에는 Raised Cosine 필터를 수신기에는 일반 저역통과 필터를 적용한 경우(비 정합된 경우)로 이론 치와 1dB의 성능 감쇄를 볼 수 있다.

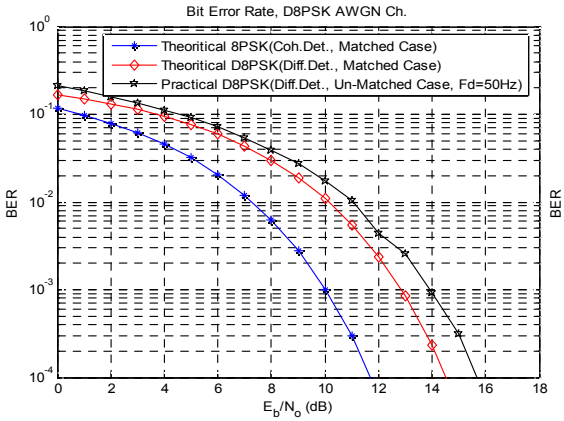
$$SNR(matched) = \frac{2}{N_0},\ SNR(brick\ wall) = \frac{2}{(1+\alpha)N_0} \qquad \text{(식 3-3-9)}$$

위 수식은 정합 필터 대신에 이상적인 벽돌형태(brick wall;$f_{edge} = (1+\alpha)/2T_S$)의 저역통과 필터를 사용할 경우 SNR 감소가 $10log_{10}(1+\alpha)$가 됨을 의미하고 α =0.6일 경우 성능 저하는 2.04 dB이다. 본 시뮬레이션에서는 비정합일 경우에 대해 저역 통과 필터의 차단 주파수를 $f_{edge} = (1+\alpha)/2T_S$ 보다 약간 더 줄임으로써 1 dB 정도의 성능 향상을 얻은 것 이다.

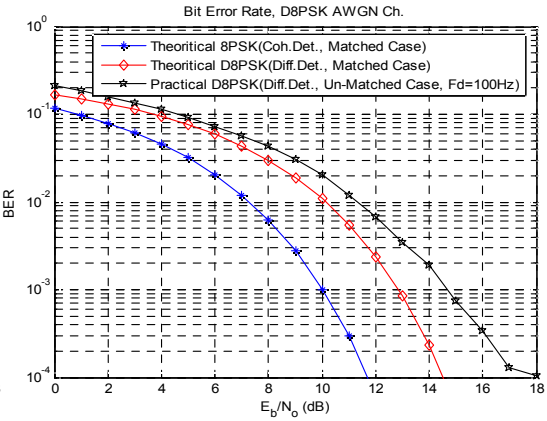
<그림 3-5-1-16>은 주파수 오프셋이 50 Hz 일 때의 비트 오류이며 아래 <그림 3-5-1-17>은 100 Hz 일 경우로 1dB 정도의 차이를 볼 수 있다.

<그림 3-5-1-18>과 <그림 3-5-1-19>은 200 Hz 이상일 경우이며 이 경우에는 만족할 만한 성능을 얻을 수 없음을 직관적으로 알 수 있다. 본 시뮬레이션의 목적은 비정합된 경우 주파수 오프셋이 BER 성능에 얼마만큼의 영향을 미치는가를 알기 위함이다. 다시 말하자면 수신기에서 얼마만큼의 주파수 오프셋 추정 및 보상 능력을 가져야 하는가이다. 본 시뮬레이션의 결론으로는 훈련 심벌을 이용해

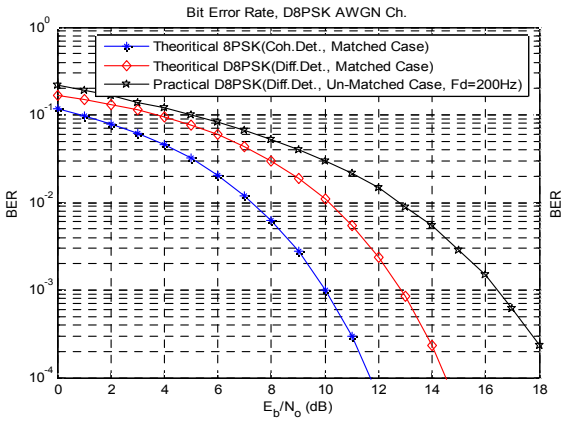
초기 주파수 오프셋을 100 Hz 이내로 추정하고 보상해야 된다는 것이다. 물론 마지막 심벌까지 유지하기위해서는 메시지 심벌을 이용해 주파수 오프셋을 추정하고 보상해야 한다.



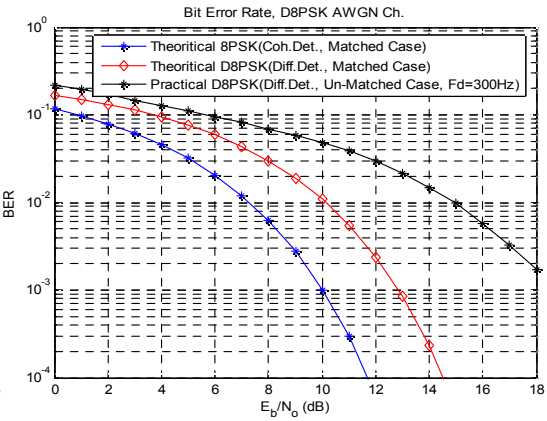
<그림 3-5-1-16> 주파수 오프셋이 50Hz 일 경우



<그림 3-5-1-17> 주파수 오프셋이 100 Hz 일 경우



<그림 3-5-1-18> 주파수 오프셋이 200 Hz 일 경우



<그림 3-5-1-19> 주파수 오프셋이 300 Hz 일 경우

⑦ Symbol De-Mapping & Differential Decoding

훈련신호 다음 심벌부터는 심벌을 재배치하고, 디퍼렌셜 디코딩을 수행해야 된다. 심벌 재 배치(symbol demapping)에는 rectangular-to-polar 변환기를 사용한다. 디퍼렌셜 디코딩은 인코딩에서 현재 심벌의 위상에 다음 위상을 더했지만, 디코딩은 이전 심벌의 위상에서 현재의 위상을 빼주는 것만 다르다. rectangular-to-polar 변환기는 Coordinate Rotation Digital Computer (CORDIC) 알고리즘을 적용하여 설계한다.

⑧ Bit De-Scrambling

디퍼렌셜 디코딩된 비트 열은 송신 시에 스크램블 되었기 때문에 반드시 디 스크램블 되어져야 한다.

⑨ Length Field Syndrome Decoding

변조기 설계에서 이미 기술하였고 디코딩 방법은 수신된 비트와 패리티 행렬을 곱하여 신드롬을 계산한 후 롬 테이블에 저장된 에러패턴을 더하는 방법으로 디코딩을 수행한다. 이 정보는 디-인터리버와 RS 디코더의 블록 크기를 계산하는데 사용된다.

⑩ Block De-Interleavering

길이필드의 정보를 이용하여 전송된 블록의 크기(행과 열의 개수)를 계산하여 디-인터리빙을 실시한다.

⑪ Data Field Reed-Solomon Decoding

본 복조기에서는 RS 디코더로 AHA4011C를 사용한다.

나. 매체접근제어(MAC, Media Access Controller)

(1) 설계 사양 (Design Specifications)

VDL Mode 2 데이터 링크 계층 중 Layer 2인 MAC Sublayer는 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 알고리즘을 이용하여 물리계층에 대한 Access를 제공하며, 항공용 통신관리 장치(ACMU)와 항공용 초단파 데이터 송수신기(AVDR)의 Physical Layer 계층 상호간의 통신을 위한 Physical Data/Management Interface와 그에 따른 프로토콜 적용을 위한 인터페이스를 제공한다.

초단파 데이터 송수신기(VDR)의 데이터 링크계층인 항공용 MAC의 기능은 크게 3가지 부분으로 이루어진다.

○ 초단파 데이터 송수신기(VDR)의 MAC 기능을 수행하는 부분

○ 통신관리 장치(CMU)의 MAC 기능의 수행 및 인터페이스를 제공하는 부분

○ 항공용 D8PSK 변복조기(D8PSKMD) 및 상하향 주파수 변환기(AUDC)와 MAC 기능의 수행 및 인터페이스를 제공하는 부분

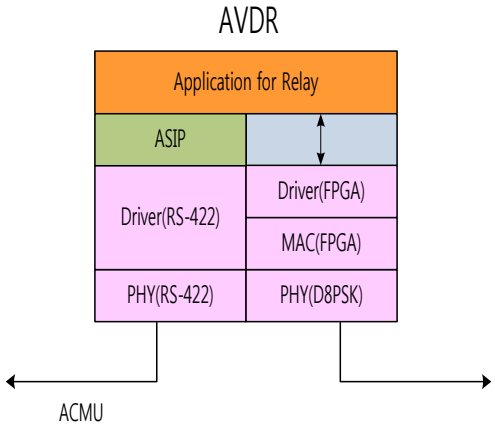
(2) MAC 시스템 구성

MAC은 프로세서와 FPGA 및 인터페이스 디바이스들로 구성되어 있다. 프로세서는 CMU와의 통신 프로토콜 및 CSMA 기능을 담당하고 FPGA는 프로세서가 제공하는 여러 정보와 물리 계층간의 인터페이스를 담당하여 프로세서의 동작을 위한 각종 파라미터를 제공하고 프로세서가 전송하고자하는 데이터를 PHY계층으로 전송하며 Bit Stuffing 기능을 수행한다.

(3) 프로세서 구동 소프트웨어 구성

MAC은 PHY로의 인터페이스를 담당하는 FPGA와 FPGA를 구동 할 수 있는 Device Driver로 구성된다.

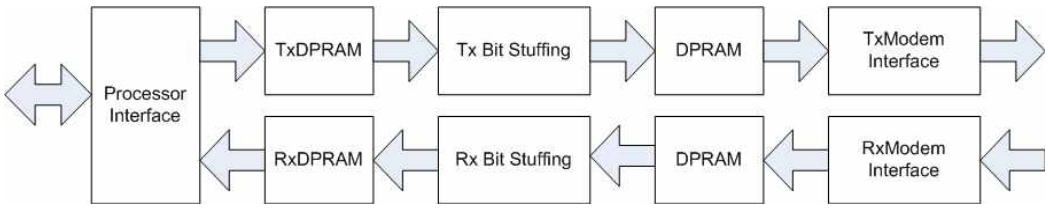
Device Driver에서는 CSMA 알고리즘과 데이터 송수신, 에러 처리, 주파수 설정 등을 담당하고, FPGA에서는 Device Driver와 PHY의 중간 인터페이스를 담당한다.



<그림 3-5-1-20> MAC 소프트웨어 구성

(4) FPGA 구성

MAC의 FPGA는 프로세서 인터페이스부, 비트 스터핑부, 비트 디스터핑부, 모뎀 인터페이스부 및 메모리로 구성된다. 프로세서 인터페이스부는 어드레스 디코딩을 통한 프로세서와의 데이터/파라미터의 정보를 공유하고, 비트 스터핑부는 물리계층를 통해 전송하고자 하는 데이터에 대하여 스터핑 동작을 수행하며, 비트 디스터핑부는 물리계층를 통해 수신된 데이터에 대하여 비트 디스터핑 동작을 수행한다. 또한 모뎀 인터페이스 부는 물리계층의 모뎀과 송수신을 담당한다.

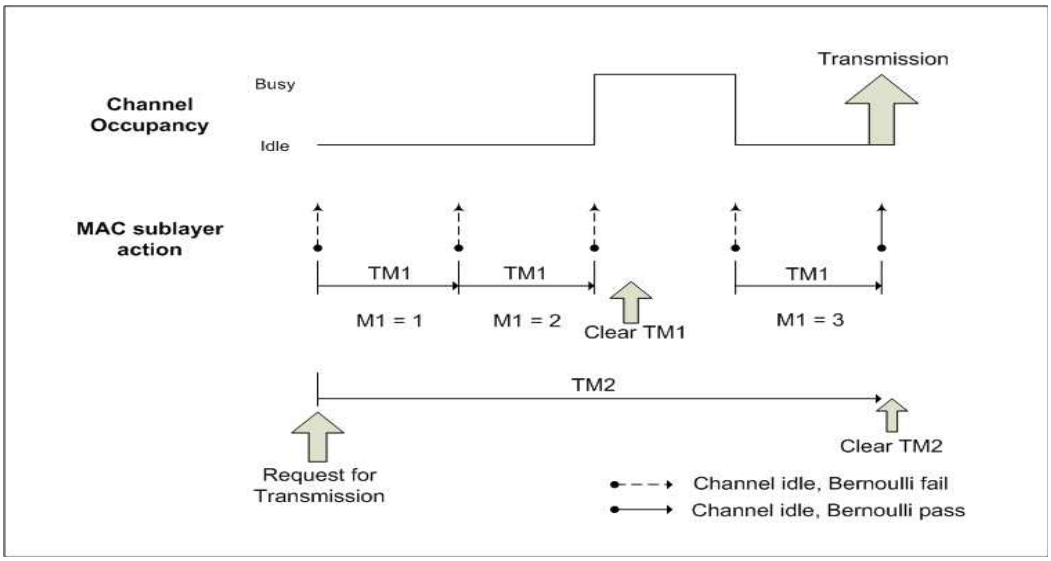


<그림 3-5-1-21> FPGA 내부 시스템 구성

(5) 소프트웨어 설계

(가) 인터럽트 (Interrupt)

<그림 3-5-1-22>은 MAC의 일반적인 동작의 예이다.



<그림 3-5-1-22> MAC 작동 과정의 예제

FPGA가 TM1시간 마다 주기적으로 Channel Occupancy 와 TX 인터럽트를 띄워주면, Device Driver에서는 p-persistence를 계산하여 전송 여부를 결정한다. 계산한 p-persistence가 지정된 p-persistence보다 작으면 데이터를 전송하고, 아니면 M1을 1만큼 증가 시키고 다음 TX 인터럽트를 기다린다. FPGA는 데이터를 수신하면 SQP와 RX 인터럽트를 띄워 데이터 수신을 알린다. Device Driver에서는 수신된 데이터의 목적지 주소를 확인하여 내쪽으로 향하는 데이터이면 UNITDATA.ind로 알려주고 아니면 버린다. 하지만, SQP는 매 수신시마다 SQP.ind로 알려준다.

(나) 주소 설정

ADDR.req를 수신하면 내 주소와 브로드 캐스트 주소, 멀티캐스트 주소를 세팅한다. 이 주소 값은 데이터를 수신했을 때 내 쪽으로 향하는 데이터인지 아닌지를 판단한다.

(다) 파라메터 세팅

PARAM.req를 수신했을 때, TM2와 M1, p 값은 Device Driver의 해당 내부 변수를 변경하고, Frequency는 FPGA를 통해 PHY의 주파수를 변경한다. 또, TM1은 FPGA의 내부 변수를 변경하도록 한다. PHY의 주파수 변경은 INFO_REG의 2

번 비트를 세팅하고 FREQ_SET_ADDR에 주파수 값을 적는다. TM1 값은 INFO_REQ의 4번 비트를 세팅하고 TM1_SET_ADDR에 TM1 값을 적는다.

(라) FPGA 인터페이스

○ 주소 매핑

<표 3-5-1-9> FPGA Address 매핑

NAME	Address	Description
CH_USAGE_REG	0xF200_0000	1Byte, IDLE = 0, BUSY = 1
INFO_REG	0xF200_0004	1 Byte 각 비트별 의미는 다음 표 참조
SQP_VALUE_ADDR	0xF200_0008	1 Byte, SQP 값을 세팅한다.
FREQ_ SET_ADDR	0xF200_000C	2 Byte, 세팅할 주파수 값
FREQ_IND_ADDR	0xF200_0010	2 Byte, 세팅한 주파수 값
TM1_SET_ADDR	0xF200_0014	1 Byte, 세팅할 TM1 값
TX_ADDR	0xF201_0000	
RX_ADDR	0xF202_0000	

INFO_REG 비트별 의미

다음은 INFO_REG의 각 비트별 의미이다.

8	7	6	5	4	3	2	1
			TX_ENABLE	TM1_SET	FREQ_IND	FREQ_SET	SQP

TX_ENABLE	전송할 데이터가 있으면 TX_ADDR에 데이터를 쓰고, 이 비트를 1로 세팅한다. 전송할 데이터가 없으면 0이다.
TM1_SET	FPGA의 TM1 값을 세팅할 때 사용한다. TM1_SET_ADDR에 TM1값을 세팅하고 이 비트를 1로 세팅.
FREQ_IND	PHY의 세팅된 주파수를 확인할 때 사용한다. FPGA는 PHY의 주파수를 읽어 FREQ_IND_ADDR에 값을 세팅하고, 이 비트를 1로 세팅
FREQ_SET	MAC에서 PHY의 주파수를 변경하고자 할 때 사용한다. FREQ_SET_ADDR에 값을 세팅하고 이 비트를 1로 세팅
SQP	SQP 값이 SQP_VALUE_REG에 세팅되면 1, 아니면 0

○ 프레임 포맷

Tx Addr, Rx Addr에 데이터를 쓰거나 읽을 때의 Frame Format이다.

Length	DATA
2 Byte	1 ~ 2048 Bytes

○ 프로세서 인터페이스 블록

프로세서 인터페이스 블록은 CMU로부터 수신되어 Phy에 전달하여야 될 정보 및 설정파라미터를 프로세서로부터 수신하여 설정 및 Phy로의 전송를 수행하며 Phy로부터 수신한 정보를 프로세서로 전달한다. 또한 CSMA를 위하여 세팅된 TM1값에 따라 TM1인터럽트를 발생시킨다. 비트스터핑 블록과 Tx/Rx각각 4개의 DPRAM를 통하여 연결되어 진다.

○ Tx Bit Stuffing 블록

비트 스터핑 블록은 프로세서 블록으로부터 전송된 DPRAM으로부터 데이터를 읽어 플레그 바이트 0x7E를 삽입하며 데이터에 연속되어진 5개이상의 '1'에 대하여 스터핑을 수행한다. 4개의 DPRAM으로부터 데이터를 읽어 각각 플레그 바이트 삽입과 스터핑을 수행하여 하나의 DPRAM에 써넣어 모뎀인터페이스 블록으로 전달하며 이때 전송데이터의 Bit 수를 계산하여 삽입한다.

○ Rx Bit Stuffing 블록

Rx 스터핑 블록은 모뎀인터페이스 블록으로부터 쓰여진 DPRAM으로부터 데이터를 읽어 Tx시 스터핑된 데이터를 원래대로 복원하며 플레그 바이트를 체크하여 각각의 블록으로 분리하여 4개의 DPRAM에 써넣어 프로세서 블록이 데이터를 수신할 수 있도록 한다.

○ 모뎀 인터페이스 블록

모뎀 인터페이스 블록은 스터핑되어진 데이터를 PHY의 모뎀으로 전송하고 수신되어진 데이터를 Rx스터핑 블록으로 전달하는 역할을 수행한다. 모뎀과의 인터페이스는 데이터길이, 클럭, 샘플클럭, 데이터 등으로 인터페이스 된다.

다. 탑재 송수신기(VDR) 시험평가

탑재 송수신기에 대한 구성품 시험결과를 종합하면 <표 3-5-1-10>과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 보면, 연구계획서 및 국제 표준/규격에서 요구한 항목들을 만족시킴을 알 수 있다. 특히, 수신감도와 RF출력은 통신 운용반경과 관련 있는 매우 중요한 요구조건으로 모두 국제 규격을 만족시키고 있음이 구성품 시험을 통해 입증되었다.

<표 3-5-1-10> 탑재 VDR 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
수신감도	FER : 0.16이하 @-98dBm	DO-281 2.4.4.1.1	FER = 0.001	만족
인전채널 제거	FER : 0.16이하 @-43dBm (at reference signal)	DO-281 2.4.4.1.2	FER = 0.001	만족
VHF 항공대역 안쪽의 신호제거	FER : 0.16이하@ -33dBm at CW and -87dBm at referece signal.	DO-281 2.4.4.1.3	FER = 0.001	만족

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
VHF 항공대역 밖의 신호제거	FER : 0.16이하 @-33dBm at 108 to 156MHz, -7dBm at 50kHz to 1215 MHz, -5dBm at 87.5 to 107.9MHz	DO-281 2.4.4.1.4	FER = 0.090 at 108 to 156MHz, at 50kHz to 1251MHz, at 87.5 to 107.9MHz	만족
입력신호의 다이나믹 범위	FER : 0.16@-7dBm	DO-281 2.4.4.1.5	FER = 0.001	만족
데이터의 클럭 옵셋에 따른 데이터 에러율	FER : 0.16 이하 @ -87dBm at symbol rate ±50ppm 일때	DO-281 2.4.4.1.6	시뮬레이션 검증	만족
주파수 옵셋에 따른 데이터 에러율	FER : 0.16 이하 @ -98dBm 신호 at Frequency Offset 957Hz.	DO-281 2.4.4.1.7	FER = 0.133	만족
위상 각속도	FER : 0.16 이하 @ -87dBm FM 변조(0.8Hz rate, 200Hz Dev)	DO-281 2.4.4.1.8	FER = 0.001	만족
Co-Channel 방해	FER : 0.16 이하 @ -87dBM 신호와 20dB 노이지 신호	DO-281 2.4.4.1.9	FER = 0.003	만족
스퓨리어스 방사	-64dBm 이하 @ 118~137MHz	DO-281 2.4.4.1.10	측정값 = -68dBm	만족
Band에 포함한 Inter-Modulation/Dessensitization	FER : 0.16이하 @ 혼변조상태일때	DO-281 2.4.4.1.11	FER = 0.001	만족
비트전송율	비트 전송률 = 31.5kbps ± 50ppm	DO-281 2.4.4.2.1	비트전송률 = 31.5kbps	만족
RF 출력전력	36.02dBm < RF 출력 < 43.97dBm	DO-281 2.4.4.2.2	RF 출력 = +42.6dBm	만족
심볼 배열에러	EVM : 6%이하임	DO-281 2.4.4.2.5	EVM = 3.65%	만족
인접채널전력	+2dBm 이하 @ 첫 번째 인접채널	DO-281 2.4.4.2.7	-36dBm	만족
3번째 인접채널 측정	-28dBm 이하 @ 3번째 인접채널(25kHz×3)	DO-281 2.4.4.2.7	-36dBm	만족
4번째 인접채널 측정	-38dBm 이하 @ 4번째 인접채널(25kHz×4)	DO-281 2.4.4.2.7	-40dBm	만족

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
VSWR	VSWR 2:1 이하	DO-281 2.4.4.2.9	VSWR = 1.5:1	만족
주파수 허용한계	2ppm 이하	DO-281 2.4.4.2.10	±1ppm	만족
튜닝시간	100ms 이하	DO-281 2.4.4.3.4	9ms	만족

(1) 수신감도 측정

○ 조건 : 수신감도 -98dBm에서 FER(Frame Error Rate)=0.16 을 만족해야 한다. 시험주파수는 118, 128, 137.975MHz 3가지 주파수를 이용한다.

○ 결과 :

주파수	기준치 FER=0.16	측정치 조건 FER=0.16	합격O/불합격X
118.000MHz	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	-98dBm	0.001	O

(2) 인접채널 제거

○ 조건 : Reference Signal Level (-87dBm)보다 44dB 큰 신호가 인접채널에 인가될 때 FER=0.16을 만족하는지 확인한다.

○ 결과 :

주파수	주파수 (간섭신호)	신호크기 (간섭신호) 간섭 VDL M2 신호	기준치 (FER=0.16)	측정치 (FER=0.16)	합격O/ 불량X
118.000MHz	118.050MHz	-43dBm	-87dBm	0.001	○
128.000MHz	128.050MHz	-43dBm	-87dBm	0.001	○
137.975MHz	137.925MHz	-43dBm	-87dBm	0.001	○

(3) VHF 항공 대역 안쪽의 신호제거

○ 조건 : -33dBm의 CW(Continuous Wave) 간섭 신호와 -87dBm(Reference Signal Level)의 원하는 신호가 수신기로 입력될 때, 수신기는 BER or FER을 만족해야 한다.

○ 결과

주파수	주파수 (간섭신호)	신호크기 (간섭신호) 간섭 CW 신호	기준치 (FER=0.16)	측정치 (FER=0.16)	합격O/ 불량X
118.000MHz	118.050MHz	-33dBm	-87dBm	0.001	O
128.000MHz	128.050MHz	-33dBm	-87dBm	0.001	O
137.975MHz	137.925MHz	-33dBm	-87dBm	0.001	O

(4) VHF 항공대역 밖의 신호제거

○ 조건 : 수신기에 항공 대역 밖의 원하지 않는 특정한 신호와 원하는 신호가 인가되어도 BER=10-3 또는 FER=0.16을 만족을 해야 한다.

○ 결과 :

주파수	주파수 (간섭신호)	신호크기 간섭 CW 신호	기준치 (FER=0.16)	측정치 (FER=0.16)	합격O/ 불량X
128.000MHz	간섭신호 A	-33dBm	-87dBm	0.001	O
128.000MHz	간섭신호 B-1	-7dBm	-87dBm	0.090	0
128.000MHz	간섭신호 B-2	-33dBm	-87dBm	0.001	O
128.000MHz	간섭신호 C	-5dBm	-87dBm	0.012	O

(5) 입력신호의 다이나믹 범위(Dynamic Range)

○ 조건 : 수신기는 최소 입력 신호 레벨과(-98dBm)에서 최대 입력 신호 레벨(-7dBm)까지 FER=0.16 을 유지해야 한다.

○ 결과 :

주파수	기준치 최대입력신호 (FER=0.16)	측정치 최대입력신호	기준치 최소입력신호 (FER=0.16)	측정치 최소입력신호	합격O/ 불량X
118.000MHz	-7dBm	-30dBm	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	-7dBm	-30dBm	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	-7dBm	-30dBm	-98dBm	0.001	O

(6) 데이터의 클럿 옵셋에 따른 데이터 에러율 검토(Symbol Rate Capture Range)

○ 조건 : 수신기는 수신신호가 -87dBm(reference signal level)에서 symbol rate가 ±50ppm의 off설정을 가질 때도 FER=0.16을 만족하여야 한다.

○ 결과

주파수	Symbol Rate Offset	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/불량X
118.000MHz	±50ppm	-87dBm	시뮬레이션 검증	O
128.000MHz	±50ppm	-87dBm	시뮬레이션 검증	O
137.975MHz	±50ppm	-87dBm	시뮬레이션 검증	O

(7) 주파수 옵셋에 따른 데이터 에러율 검토 (Frequency Capture Range)

○ 조건 : 수신기는 아래에 정의된 최대 허용 주파수 off설정을 가지는 -98dBm (sensitivity level) 이상의 신호가 어느 채널에 동기되어 수신되더라도 lock을 유지하고 신호를 검출하는 능력을 가져야 한다.

○ 결과 :

주파수	Frequency Offset	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	±967Hz	-98dBm	0.077	O
128.000MHz	±967Hz	-98dBm	0.104	O
137.975MHz	±967Hz	-98dBm	0.133	O

(8) 위상 각속도

○ 조건 : 위상 각속도는 도플러 시나리오와 VDL 송신기의 잔류 주파수 변조 상황에서 주파수 변조를 진행하는 것과 관계가 있다. 도플러 시나리오 상황에서 주파수 변조의 결과는 low modulation rates와 low peak frequency deviations의 특징을 가진다. DO-224A에 도플러 시나리오 상황에서 VDL 송신기가 발생시키는 최대 phase accelerations 허용치를 명시되어 있다.

○ 결과

주파수	FM 변조	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	0.8Hz Rate, 200Hz Dev.	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	0.8Hz Rate, 200Hz Dev.	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	0.8Hz Rate, 200Hz Dev.	-98dBm	0.001	O

(9) Co-Channel 방해

○ 조건 : 수신기의 같은 채널로 Reference Signal Level(-87dBm)과 이 신호 레벨보다 20dB이하의 원하지 않는 신호가 입력되었을 때 BER =10^{-3}을 만족하여야 한다.

○ 결과 :

주파수	간섭신호	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	-107dBm, 118MHz	-87dBm	0.003	O
128.000MHz	-107dBm, 128MHz	-87dBm	0.003	O
137.975MHz	-107dBm, 137.975MHz	-87dBm	0.003	O

(10) 스퓨리어스 방사

○ 조건 : 수신기의 입력임피던스(50Ω)와 같은 저항을 수신기 입력에 연결단에 연결시키고, 이 부하저항을 통해 방사되는 스퓨리어스가 50kHz~1215MHz 대역에서는 -57dBm을 초과할 수 없고 118~137MHz 대역에서는 -64dBm을 초과할 수 없다.

○ 결과

주파수	50kHz ~1215MHz	118 ~137MHz	측정치 50kHz ~1215MHz	측정치 118 ~137MHz	합격O/ 불량X
118.000MHz	-57dBm이하	-64dBm이하	-57dBm이하	-68dBm	O
128.000MHz	-57dBm이하	-64dBm이하	-57dBm이하	-70dBm	O
137.975MHz	-57dBm이하	-64dBm이하	-57dBm이하	-71dBm	O

(11) Band에 포함된 inter-modulation/Dessensitization

○ 조건 : 대역내 신호에 의한 혼변조와 수신감도를 저하 시키는 원인(Desensitization)에 대한 시험이다. 수신기는 두개의 간섭신호(Unwanted Signal)와 원하는 신호(Desired Signal)의 입력에 대하여 Error Rate를 만족하여야 한다.

○ 결과

주파수	간섭신호1 (-32dBm)	간섭신호2 (-32dBM)	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	117MHz	119MHz	-75dBm	0.001	O
128.000MHz	126MHz	130MHz	-75dBm	0.001	O
137.975MHz	88MHz	108MHz	-75dBm	0.001	O

(12) 비트 전송률 (Bit Rate)

○ 조건 : 송신기의 비트 전송률은 31.5kbps ± 50ppm의 특성을 갖는다. 또한 사용하는 오실레이터의 안정도와 수명 그리고 온도 계수를 제조자로부터 제공 받는다.

○ 결과 :

	D8PSK 변복조기	상하향변환기	기준치	합격O/ 불량X
온도 계수	-40~+75℃	-40~+75℃	-40~+75℃	O
수명	±1ppm/1year	±1ppm/1year	±1ppm/1year	O
안정도	±1ppm	±1ppm	±1ppm	O
비트전송률	31.5kbps	31.5kbps	31.5kbps	O

(13) RF 출력전력

○ 조건 : RF 출력 전력은 안테나 포트에서 측정되며, 규격서에 의거하여 Class 7의 경우 15Watt, Class 8의 경우 4Watt을 이상이며, 최대전력 25Watt을 초과 할 수 없다.

○ 결과 :

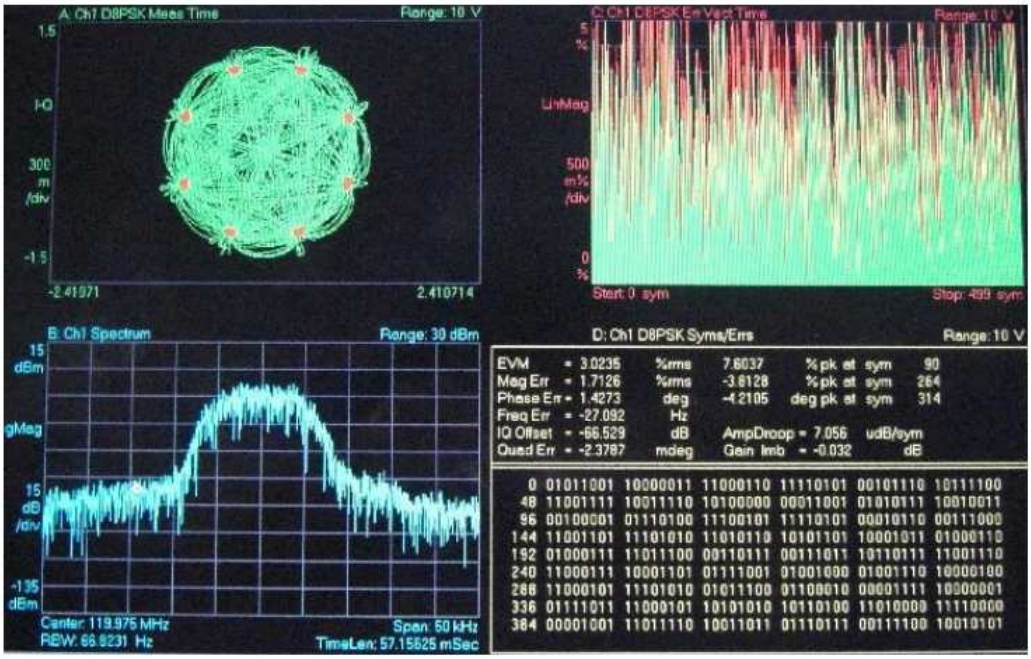
주파수	기준치 최소출력 (dBm)	기준치 최대출력 (dBm)	기준치 (dBm)	측정치 (dBm)	합격O/불량 X
118.000MHz	+36.02	+43.97	+41.76	+42.6	O
128.000MHz	+36.02	+43.97	+41.76	+42.8	O
137.975MHz	+36.02	+43.97	+41.76	+41.8	O

(14) 심볼 배열에러 (symbol Constellation Error)

○ 조건 : Reference bit sequence에 대하여 처음 100 Symbol을 측정할 때, EVM은 6%이하여야 한다.

○ 결과 :

주파수	Symbol 수	기준치 EVM	측정치 EVM (%)	합격O/불량X
118.000MHz	100 symbol	6% 이하	3.65	O
128.000MHz	100 symbol	6% 이하	3.31	O
137.975MHz	100 symbol	6% 이하	2.97	O



(15) 스퓨리어스 방사

○ 조건 : 송신기가 "active"(송신모드) 이고 출력 임피던스에 맞추어 load resister로 termination되어 있을 때 송신기 출력 상에서 spurious 방사 제한 출력은 아래의 값을 초과하지 않는다. 하모닉 성분은 60dBc로 제한한다.

○ 결과 :

상태	주파수	기준치 규정 전력	대역폭	측정치 (dBm) 주파수1	**합격/불량**	측정치 (dBm) 주파수2	**합격/불량**	측정치 (dBm) 주파수3	**합격/불량**
송신 모드	9KHz~150KHz	-36dBm	1KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	150KHz~30MHz	-36dBm	10KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	30MHz~108MHz	-36dBm	100KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	108MHz~117.5MHz	-36dBm	100KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	117.5MHz~117.8MHz	-36dBm	10KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	137.175MHz~137.475MHz	-36dBm	10KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	137.475MHz~1GHz	-36dBm	100KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O

(16) 인접채널전력(Adjacent Channel Power)

○ 조건 : 첫 번째 인첩 채널 중앙 16kHz의 대역에서 측정된 출력 전력은 송신기의 모든 운용 조건에서 -18dBm을 초과하지 않아야 한다. 첫 번째 인첩채널 중앙 25kHz의 대역에서 측정된 출력 전력은 모든 운용조건에서 +2dBm을 초과하지 않아야 한다.

○ 결과 :

주파수	기준치 1st 인접채널 전력 16kHz BW	측정치 1st 인접채널 전력 16kHz BW	기준치 2st 인접채널 전력 25kHz BW	측정치 1st 인접채널 전력 25kHz BW	합격O/ 불량X
118.000MHz	-18dBm	-23dBm	+2dBm	-17dBm	O
128.000MHz	-18dBm	-24dBm	+2dBm	-18dBm	O
137.975MHz	-18dBm	-22dBm	+2dBm	-16dBm	O

(17) 3번째 인접채널을 측정하는 방법

○ 조건 : 두 번째와 세 번째 인접채널의 중앙에서 25KHz의 채널 대역에서 측정된 RF power는 모든 운용조건에서 -28dBm을 초과하지 않아야 한다.

○ 결과 :

주파수	기준치 세번째 인접채널 전력 (25kHz BW)	측정치 2번째 인접채널 전력 (25kHz BW)	합격O/ 불량X	측정치 3번째 인접채널 전력 (25kHz BW)	합격O/ 불량X
118.000MHz	-28dBm	-30dBm	O	-35dBm	O
128.000MHz	-28dBm	-33dBm	O	-36dBm	O
137.975MHz	-28dBm	-31dBm	O	-34dBm	O

(18) 4번째 인접 채널을 측정하는 방법

○ 조건 : 네번째 인접채널의 중앙에서 25KHz의 채널 대역에서 측정된 RF power는 모든 운용조건에서 -38dBm을 초과하지 않아야 한다. 네번째 이상의 인접채널의 경우 25kHz의 채널 대역폭을 가지고 측정된 RF신호는 모든 운용조건에서 8개 채널 옵셋당 5dB 정도씩 -53dBm 까지 줄어든다. 예를들어 8번째 인접채널은 -43dBm, 16번째 인접채널은 -48dBm, 32번째 인접채널은 -53dBm이다.

○ 결과

주파수	기준치 4번째 인접채널 전력 25kHz BW	측정치 4번째 인접채널 전력 25kHz BW	합격O/불량X
118.000MHz	-38dBm	-40dBm	O
128.000MHz	-38dBm	-40dBm	O
137.975MHz	-38dBm	-43dBm	O

(19) 하의 VSWR(정재파비) 능력 (Load VSWR Capability)

○ 조건 : Power 출력은 Class7, Class8에서 명시한 RF 출력 전력에서 3dB 이상 줄어들면 안되고, 출력 정재파비는 2:1을 넘어서는 안된다.

○ 결과

주파수	기준치 출력 정재파비	측정치 출력 정재파비	합격O/불량X
118.000MHz	2:1 이하	2:1 이하	O
128.000MHz	2:1 이하	2:1 이하	O
137.975MHz	2:1 이하	2:1 이하	O

(20) 주파수 허용한계(Frequency Tolerance)

○ 조건 : 주파수 허용한계는 오실레리터 제조사의 수명, 안정도, 온도계수 큰 영향을 미친다. 안정도는 2ppm을 이다.

○ 결론

	D8PSK 변복조기	상하향 변환기	기준치	합격O/불량X
온도 계수	-40 ~+75	-40 ~+75	-40 ~+75	O
수명	±1ppm/1year	±1ppm/1year	±1ppm/1year	O
안정도	±1ppm	±1ppm	±1ppm	O

(21) 튜닝시간

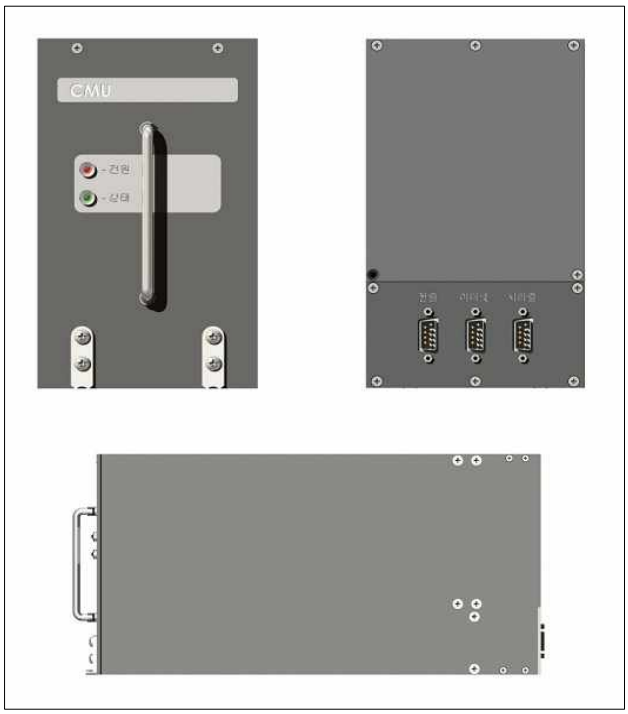
○ 조건 : 송수신기는 송신상태가 아닐때 제어기로부터 주파수 변경 명령을 받았을 때 117.975~136.975MHz대역의 25kHz의 760개의 어떠한 채널로라도 100ms이내에 변경되어야 한다.

○ 결과

주파수	기준치 (시간)	측정치 (시간)	합격O/불량X
모든 채널	100ms	9ms	O

2. 탑재통신관리기(CMU) 개발

탑재 통신 관리기(CMU)는 항공기에 장착되어 데이터 통신과 관련하여 VDR을 제어하고 링크 상에서의 데이터 관리하며 응용 소프트웨어와의 인터페이스를 제공하는 장비이다. 항공기에 장착되어 운용될 수 있는 하드웨어 시스템으로 구성되며, 모든 기능은 리눅스 환경에서 수행되는 C 언어로 작성된 소프트웨어로 구성된다. 본 절에서는 CMU의 제작에 대한 소프트웨어 제작 내용과 단품 시험 결과에 대해 기술한다. CMU의 하드웨어 구조는 <그림 3-5-2-1>과 같이 항공기에 탑재되어 시험이 가능한 형상으로 제작 되었다.

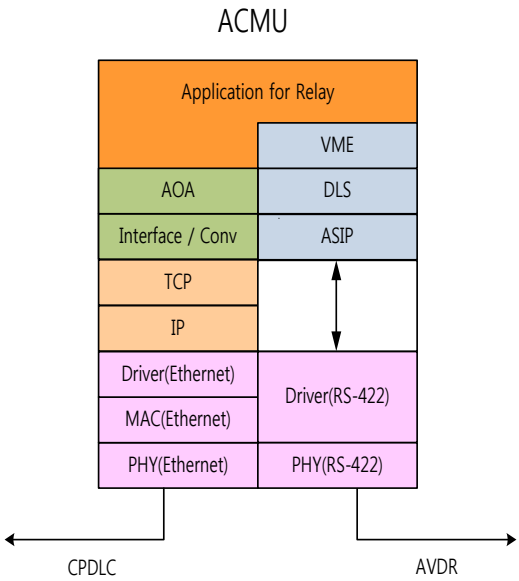


<그림 3-5-2-1> 탑재 통신 관리기(CMU) 형상



<그림 3-5-2-2> 탑재 통신 관리기(CMU)

CMU 소프트웨어에는 AOA, Interface/Conv, VME, DLS, TX_Queue 기능이 포함된다. AAS와 CMU간의 물리적 인터페이스는 이더넷을 사용하고, CMU와 VDR간의 물리적 인터페이스는 RS-422를 사용하며, VME와 DLS간의 내부 인터페이스는 이더넷 Loopback 인터페이스를 사용한다. CMU의 OS(Operation System)는 Linux Kernel 2.6을 사용한다. CMU의 소프트웨어 계층 구조는 아래 그림과 같다.



<그림 3-5-2-3> CMU 소프트웨어 구성

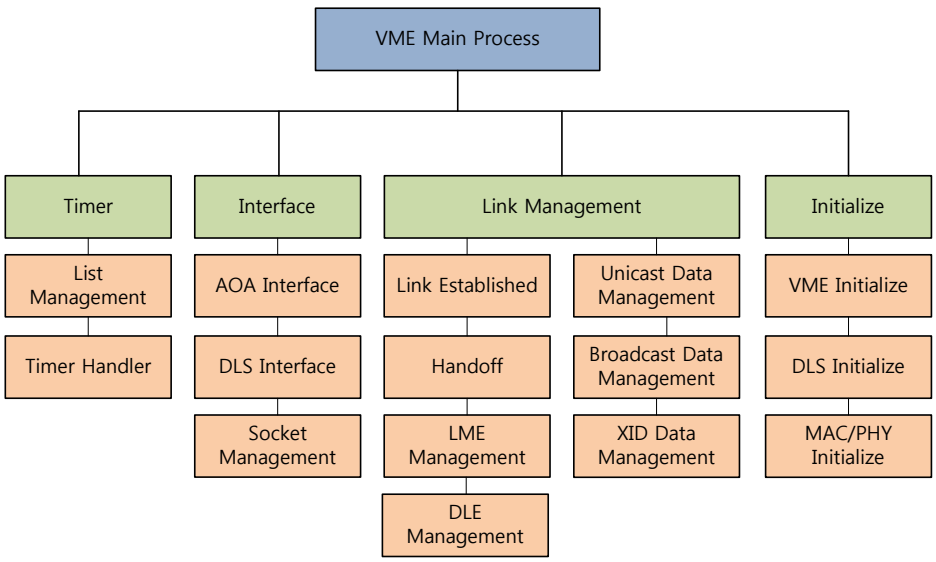
CMU는 하나의 VDR를 관리 하며, 지상국과의 링크를 설립하고 핸드오프를 수행하며, 상위 레이어의 데이터를 지상국으로 전송하거나 하의 레이어의 데이터를 상위 레이어로 전송하는 기능을 담당하고, CMU 및 VDR의 내부 파라미터를 설정하고 초기화 한다.

VME는 지상과의 연결을 설정하기 위해서 먼저 가용한 주파수 대역(Frequency band)을 찾아야 한다. 찾게 되면, 이후 지상국을 식별하여 연결을 시도한다. 연결을 시도하여 링크가 구성이 되면 VME는 LME를 생성하고 DLS에게 DLE를 생성하도록 시킨다. CMU에는 한 개의 VME가 존재하며 지상국당 한 개의 LME와 DLE를 생성하지만 핸드오프시에는 또 하나의 DLE를 생성하고 핸드오프가 종료되면 오래된 DLE는 삭제된다. VME는 TG1, TG2, TG5와 같은 타이머를 관리하며, 리눅스에서는 하나의 타이머에서 구현해야 하므로 각각의 타이머를 리스트로 관리한다.

가. CMU 소프트웨어 설계 및 구현

(1) VHF 링크 관리계체(VME)

(가) VME Main Process



<그림 3-5-2-4> VME Block Diagram

위의 그림은 VME 소프트웨어 블록 다이어그램을 나타낸다. VME는 링크와 데이터 관리를 위한 Link Management, 초기화를 담당하는 Initialize, 내부 LME들의

타이머를 관리하는 Timer, 상위 레이어나 DLS와의 인터페이스를 담당하는 Interface 블록이 있다.

Link Management 블록은 여러 서브 블록으로 나뉘는데, 링크를 설립하는 Link Established, 핸드오프를 담당하는 Handoff, LME의 생성과 삭제를 관리하는 LME Management, 링크 관리를 위해 DLS내의 DLE를 관리하는 DLE Management, 링크를 설립하기 위하여 보내어 지는 XID 데이터의 내부 여러 파라메터를 관리하는 XID Data Management, 상위 레이어에서 내려오는 데이터를 Ground station로 전송하거나 또는 역방향으로 전송하는 부분을 담당하는 Unicast Data Management, Broadcast Data Management로 구성된다.

타이머 블록은 각 LME에 존재하는 TG1, TG2, TG5의 타이머를 하나의 리스트로 관리하기 위해 List Mangement와 타임아웃이 발생했을 때 이를 처리해 주는 Timer Handler로 구성된다.

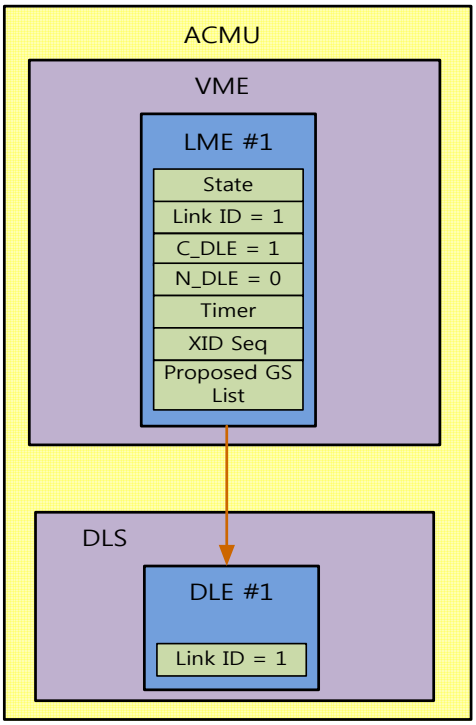
인터페이스 블록은 상위 레이어인 AOA와의 인터페이스를 위한 AOA Interface, 하위 레이어인 DLS와 인터페이스를 위한 DLS Interface 그리고 이더넷 인터페이스를 위한 Socket Management로 구성된다.

초기화 블록은 VME의 내부 파라메터를 초기화 하는 VME Initialize, DLS를 초기화 하는 DLS Initialize, VDR의 MAC/PHY Initialize로 구성된다.

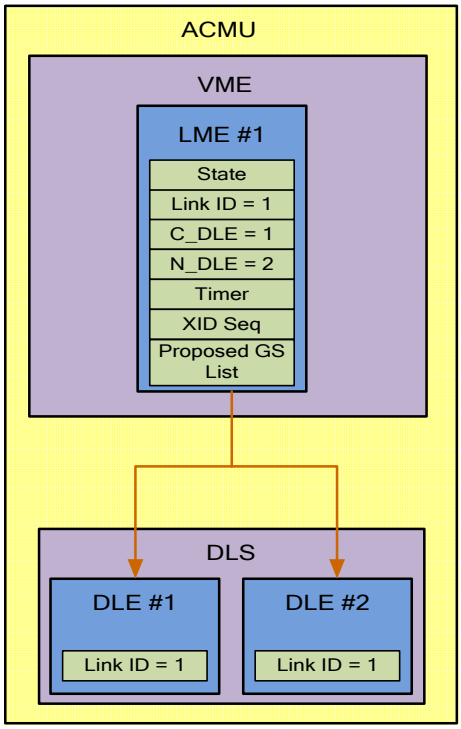
(나) VME 구현 구조

LME는 VME가 각 링크를 관리하기 위하여 생성하는 객체이며, 실체는 State, Link ID, DLE, Timer 등을 갖는 구조체이다. LME는 리스트로 관리되며 삽입, 삭제가 자유로운 동적 Double Linked List로 관리된다.

VME는 링크가 설립되면 VME내에 ground system당 한 개의 LME와 DLS에 DLE를 생성한다. 다음 그림은 LME와 DLE의 관계를 나타낸다.



<그림 3-5-2-5> VME와 DLS의 링크 성립 관계

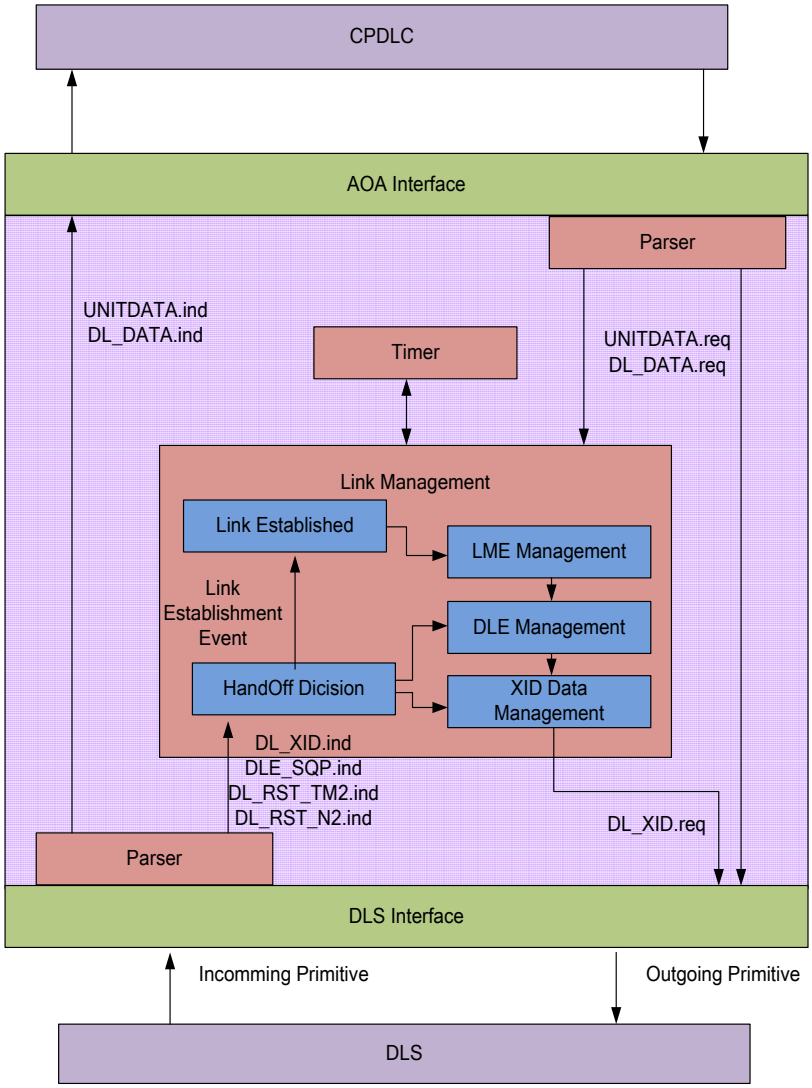


<그림 3-5-2-6> 핸드오프 중일때 VME, DLS 링크 성립 관계

VME는 Link ID로 링크를 관리하며 ABM_single 모드에서는 하나의 LME와 하나의 DLE가 생성되지만, ABM_Mult 상태에서는 새로운 DLE가 생성이 되고 하나의 Link ID로 두 개의 DLE를 관리한다. 오래된 DLE는 TG5 타임아웃이 발생하면 삭제한다. <그림 3-5-2-5>와 <그림 3-5-2-6>은 핸드오프 중일때 VME와 DLS내의 LME, DLE 생성 관계를 나타낸다.

(다) VME Function Flow

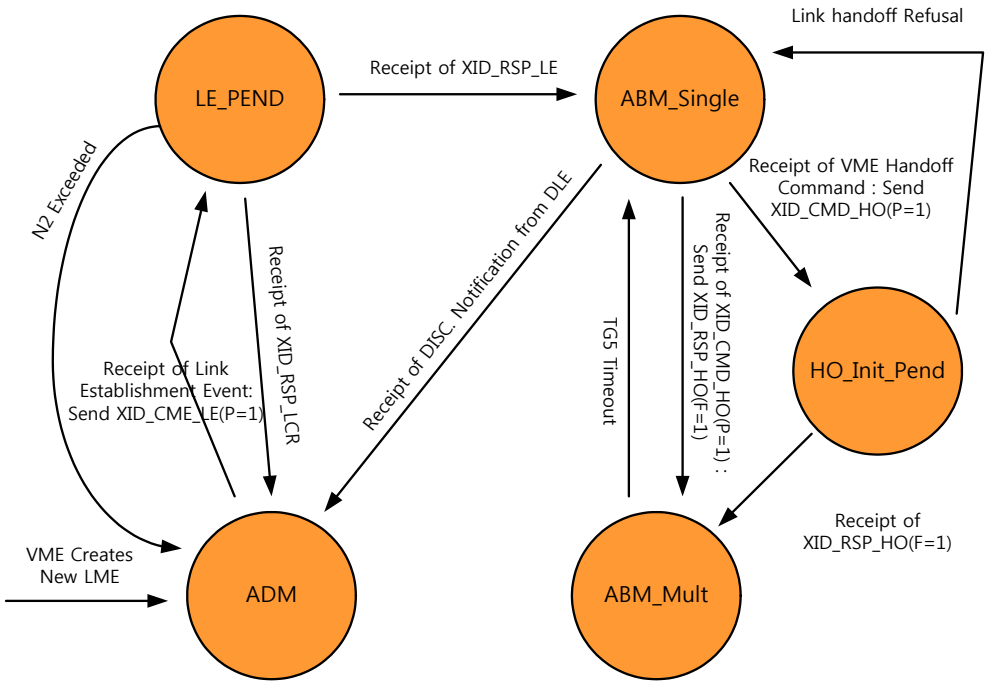
VME는 지상과 링크가 없을 때 Frequency Search를 수행하며 Ground Station을 찾았다면 연결 설정 요청(XID_CMD_LE(P=1)을 송신하고 XID_RSP_LE(F=1)을 수신하면 해당 링크에 새로운 Link ID를 부여하고 LME를 생성한다. 그리고 DLE_CREATE.req Primitive를 DLS로 송신하여 DLE를 생성하도록 한다. 링크 종료 메시지(DISC)나 잘못된 프레임 수신을 알리는 DM을 수신 했을 때는 LME를 삭제하고 DLE_DELETE.req Primitive를 전송하여 해당 DLE를 삭제하고 새로운 링크를 찾는다.



<그림 3-5-2-7> VME Function Flow Diagram

(라) LME State

LME는 링크 설립 여부, 핸드오프 여부에 따라 여러 상태 값을 갖는다. 다음 그림은 LME State Diagram을 나타낸다.

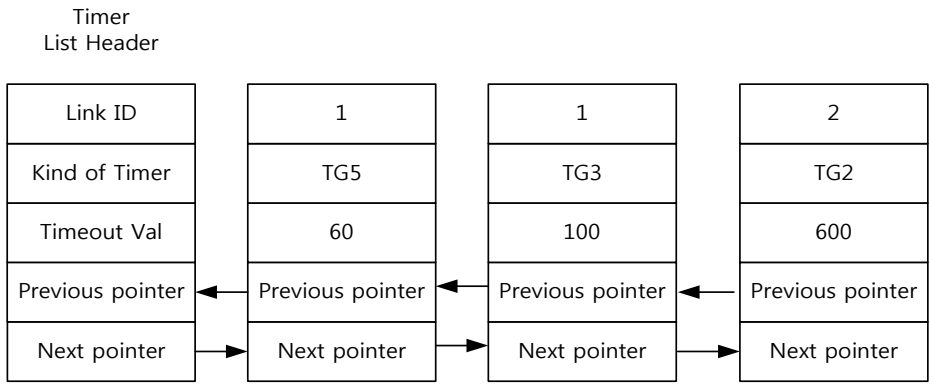


<그림 3-5-2-8> LME State Diagram

ADM Mode는 현재 설립된 링크가 없는 상태를 나타내며, 항공기와 링크가 설립이 되면 ABM_single Mode가 된다. ABM_single Mode에서는 하나의 LME와 DLE를 갖는다. HO_Init_Pend Mode는 ABM_Single Mode에서 새로운 GCMU로 핸드오프를 시도 중임을 나타낸다. ABM_Mult Mode는 핸드오프 중일때 일시적으로 두 개의 링크를 갖는데, 한 개의 LME가 두 개의 DLE를 관리한다.

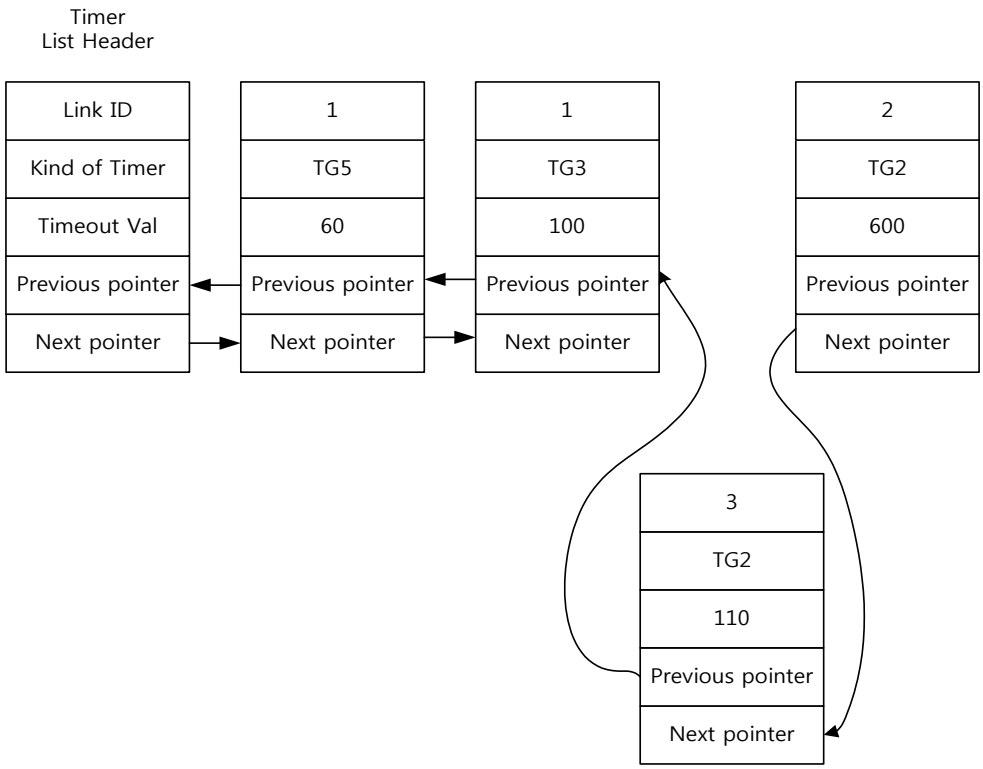
(마) 타이머

LME에는 TG1, TG2, TG3, TG4, TG5등 여러 타이머를 갖는다. 하지만 리눅스에서는 한 개의 process에서는 한 개의 타이머를 가지므로, 여러 타이머를 구현하기 위해서는 리스트로 관리하여야 한다. 타이머 리스트는 삽입, 삭제가 용이하도록 Double Linked List로 설계한다.



<그림 3-5-2-9> 타이머 리스트

타이머 리스트 구조체는 타이머를 설정하는 LME 번호 즉, Link ID와 타이머 종류, 타임아웃 값, 그리고 포인터가 존재하며, 타임아웃 순으로 정렬을 해서 삽입한다. 타이머 세팅은 리스트의 첫 번째 타임아웃 값으로 세팅하고, 타임아웃이 발생하면, 첫 번째 리스트의 Link ID와 타이머 종류를 확인하여 해당 처리를 수행한 다음 리스트에서 삭제하고 다음 타임아웃 값으로 타이머를 설정한다.



<그림 3-5-2-10> 타이머 리스트 삽입 예제

T2 타이머가 만료하면 RR을 보내도록 해당 DLE에게 명령어를 전송하고, TG2가 만료하면 해당 CMU와 연결된 링크는 삭제한다.

TG3와 TG4가 만료하면 GSIF를 전송하고, TG5가 만료하면, 해당링크의 OLD 링크는 삭제하고, New링크를 Old링크로 복사한다.

(바) Initialize

ACMU로부터 접속 요구가 들어오면 ACMU의 IP를 확인하여 기 입력된 환경정보가 있으면 해당 환경 정보로 세팅하고 기 입력된 환경정보가 없다면 Default 값으로 설정하며, 새로운 ICAO 24bit Address를 할당하며, CMU 넘버를 부여한다.

그리고, ADDR.req로 해당 CMU와 VDR의 Address를 설정하며, VDR_PARAM.req로 VDR의 내부 파라메터를 설정하며, DLS_PARAM.req로 CMU의 DLS 내부 파라메터를 설정한다.

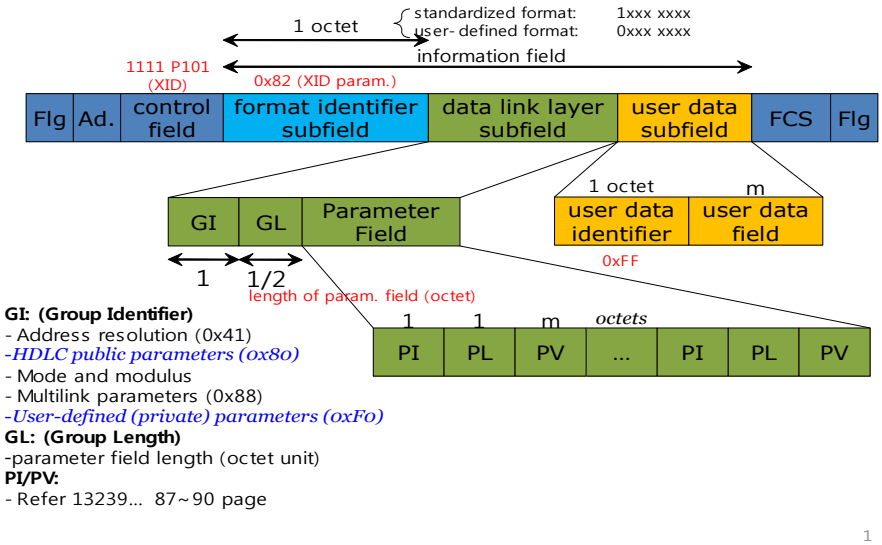
(사) Proposed GS List

DLE_SQP.ind를 수신하면 링크별로 SQP 가 높은 순으로 정렬을 해서 Proposed GS List에 GS 번호를 저장한다. 이후 링크 되어 있는 GS의 SQP가 4 이하이고 다른 GS의 SQP가 12이상이면 다른 GS로 XID_CMD_HO(P=1)을 보내서 핸드오프를 시작한다.

(아) XID

XID frame은 LME가 링크를 설정하고 유지하기 위해 사용된다. XID frame은 새로운 것과 그렇지 않은 것을 구분하기 위해서(재전송이 일어날 경우) sequence number를 사용하는데, XID 를 받은 수신 station은 그에 대한 응답으로서 같은 sequence number를 가진 XID_RSP (XID response)를 송신단에 보낸다.

XID 프레임은 다음 그림과 같은 규칙으로 만들어 진다.



<그림 3-5-2-11> XID 프레임 형식

<표 3-5-2-1>은 XID Frame의 종류를 나타낸다.

<표 3-5-2-1> XID Frame 의 종류

Name	C/R	P/F	Notes
GSIF	0	0	Ground Station Identification Frame
XID_CMD_LE	0	1	Link Establishment
XID_CMD_LCR	0	0	Link Connection Refused
XID_CMD_LPM	0	1	Link Parameter Modification
XID_CMD_HO	0	1	P=1, Initiating Handoff
XID_CMD_HO	0	0	P=0, Requesting Handoff
XID_RSP_LE	1	1	
XID_RSP_LCR	1	1	
XID_RSP_LPM	1	1	
XID_RSP_HO	1	1	

다음은 각 XID 프레임에 포함될 내부 파라메터들 목록이다.

GSIF(P=0) - Ground Station Information Frame Broadcast				
XID parameters	GI	PI	Doc 9776	GSIF
Source address	Ground station			
Destination address	All aircraft			
■ Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	M
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	M
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	M
N1-downlink	80h	05h	ATable 4-3	O
N1-uplink	80h	06h	ATable 4-4	O
k-downlink	80h	07h	ATable 4-5	O
k-uplink	80h	08h	ATable 4-6	O
Timer T1-downlink	80h	09h	Table 5-7	O
Counter N2	80h	0Ah	ATable 4-7	O
Timer T2	80h	0Bh	ATable 4-8	O
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	M
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O
Frequency support	F0h	C0h	Table 5-37	O
Airport coverage	F0h	C1h	Table 5-38	M
Nearest airport ID	F0h	C3h	Table 5-39	M
ATN router NETs	F0h	C4h	Table 5-40	M
System mask	F0h	C5h	Table 5-41	M
TG3	F0h	C6h	Table 5-42	O
TG4	F0h	C7h	Table 5-43	O
Ground station location	F0h	C8h	Table 5-44	O

XID_CMD_LE (P=1) - Link establishment comma			
XID parameters	GI	PI	Doc 9776
Source address			
Destination address			
■ Public parameters			
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A
■ Private Parameters			
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9
Connection management	F0h	01h	Table 5-10
SQP	F0h	02h	Table 5-13
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15
Expedited SN connectio	F0h	05h	Table 5-17
Modulation support	F0h	81h	Table 5-20
Alternate ground stations	F0h	82h	Table 5-22

XID_RSP_LE (F=1) - Link establishment response

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_RSP
Source address				New Aircraft
Destination address				
■ Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	M
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	M
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	M
N1-downlink	80h	05h	ATable 4-3	O
N1-uplink	80h	06h	ATable 4-4	O
k-downlink	80h	07h	ATable 4-5	O
k-uplink	80h	08h	ATable 4-6	O
Timer T1-downlink	80h	09h	Table 5-7	O
Counter N2	80h	0Ah	ATable 4-7	O
Timer T2	80h	0Bh	ATable 4-8	O
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection management	F0h	01h	Table 5-10	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	M
Expedited SN connection	F0h	05h	Table 5-17	O
Autotune frequency	F0h	40h	Table 5-26	O
Replacement ground station	F0h	41h	Table 5-27	O
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O
Frequency support	F0h	C0h	Table 5-37	O
Airport coverage	F0h	C1h	Table 5-38	O
Nearest airport ID	F0h	C3h	Table 5-39	O
ATN router NETs	F0h	C4h	Table 5-40	M
System mask	F0h	C5h	Table 5-41	M
TG3	F0h	C6h	Table 5-42	O
TG4	F0h	C7h	Table 5-43	O
Ground station location	F0h	C8h	Table 5-44	O

XID_CMD_LPM (P=1) - Link parameter modification command

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_CM
Source address				Current Aircraft
Destination address				
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O

XID_RSP_LPM (F=1) - Link parameter modification response

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_RSP
Source address				Aircraft
Destination address				Current
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M

XID_RSP_HO(F=1) - Ground Initiated Handoff response

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	Ground XID_RSP
Source address				Aircraft
Destination address				New
■ Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	O
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	O
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	O
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	O
Expedited SN connectio	F0h	05h	Table 5-17	O
Destination airport	F0h	83h	Table 5-23	O
Aircraft location	F0h	84h	Table 5-24	O

XID_RSP_LCR / XID_CMD_LCR - Link connection rejection

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	Link XID_RSP
Source address				Any
Destination address				Any
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
LCR cause	F0h	06h	Table 5-18	M

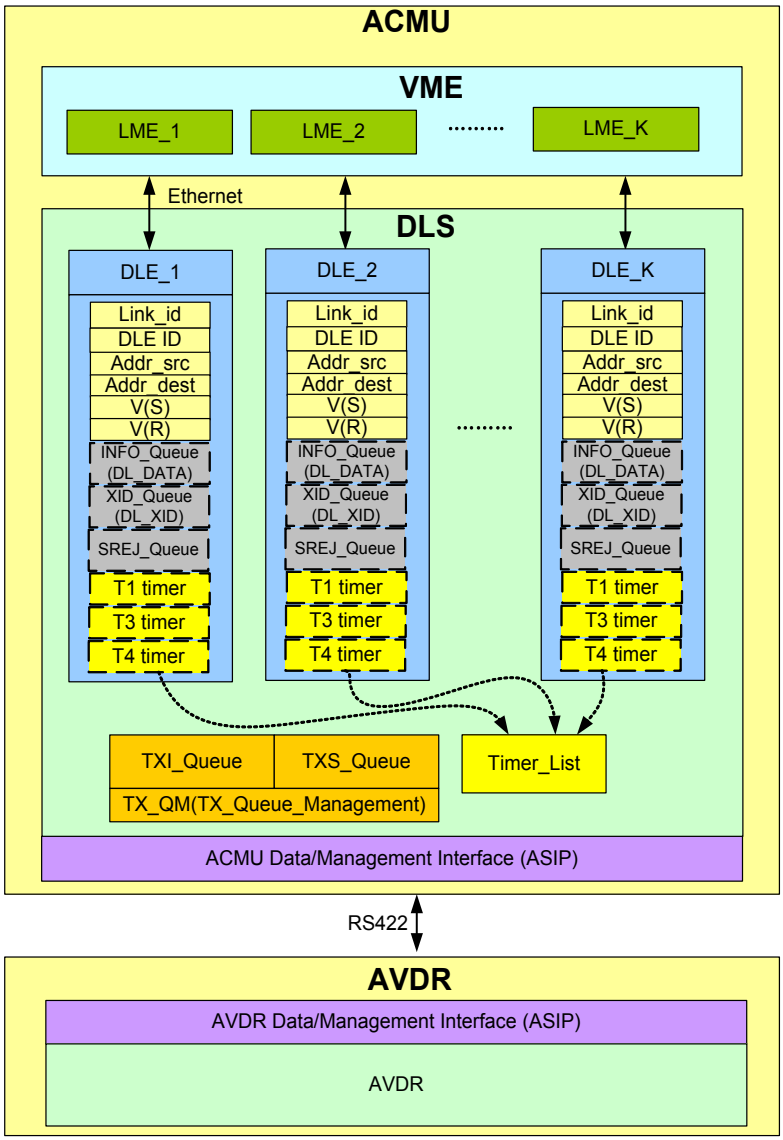
XID CMD HO(P=1) - Ground Initiated Handoff command				
XID parameters	GI	PI	Doc 9776	Ground XID CM
Source address				Propose
Destination address				Aircraft
■ Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	O
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	O
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	O
N1-downlink	80h	05h	ATable 4-3	O
N1-uplink	80h	06h	ATable 4-4	O
k-downlink	80h	07h	ATable 4-5	O
k-uplink	80h	08h	ATable 4-6	O
Timer T1-downlink	80h	09h	Table 5-7	O
Counter N2	80h	0Ah	ATable 4-7	O
Timer T2	80h	0Bh	ATable 4-8	O
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	O
Expedited SN connectio	F0h	05h	Table 5-17	O
Replacement ground sta	F0h	41h	Table 5-27	O
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O
Frequency support	F0h	C0h	Table 5-37	O
Airport coverage	F0h	C1h	Table 5-38	O
Nearest airport ID	F0h	C3h	Table 5-39	O
ATN router NETs	F0h	C4h	Table 5-40	M
System mask	F0h	C5h	Table 5-41	O
TG3	F0h	C6h	Table 5-42	O
TG4	F0h	C7h	Table 5-43	O
Ground station location	F0h	C8h	Table 5-44	O

(자) XID 수신 처리

XID를 수신했을 경우, CR, PF와 XID 내부 파라메터인 CONNTIN_MANAGEMENT의 값의 조합으로 XID의 이름을 얻어온다. XID의 이름과 현재 링크의 상태에 따라 각각의 처리는 달라진다. 각 XID 별 처리 내용은 부록 1의 상태천이표와 ICAO 9776 Manual On Digital Link(VDL) Mode 2의 LME Test Script를 참고하면 된다.

(2) 데이터링크 서브레이어(DLS)

(가) DLS 설계 구조



<그림 3-5-2-12> DLS 소프트웨어 설계 구조

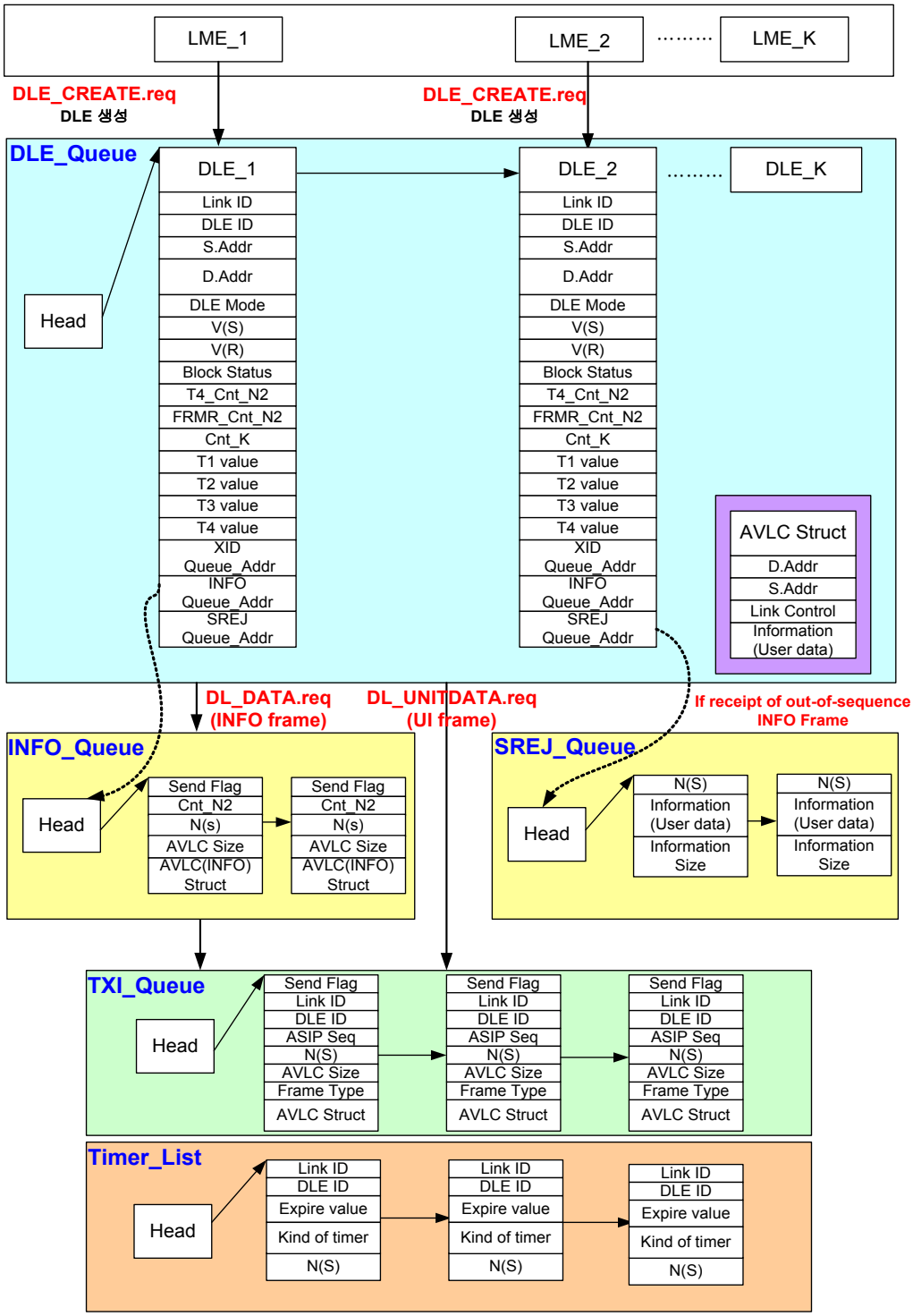
<그림 3-5-2-12>는 CMU의 DLS 소프트웨어의 전체적인 설계 구조를 나타내고 있다. DLS는 각 연결 당 DLE를 생성하고, 각 DLE마다 각각 하나씩의 INFO_Queue를 갖는다. 그 첫 번째 이유는 DLE가 block상태이거나, SRM, FRM상태일 때 TX_Queue에 전송하지 않고 INFO Queue에 저장해야 하기 때문이다. 또한 두 번째 이유는 LME로부터 DL_DATA.req를 받았을 때 데이터를 저장하여 T1 타이머가 만료하기 전에 상대방으로부터 송신한 데이터에 대한 응답을 받지 못했을 경우 재전송해야 하기 때문이다. 또한 T3만료 시 해당 XID 프레임에 대해 재전

송을 하기 위해 XID_Queue를 갖는다. 순서에 맞지 않는 프레임 수신 시, 이를 폐기하지 않고 SREJ_Queue에 저장한 다음 순서에 맞게 프레임을 상위계층에 전송한다.

TX_Queue는 모든 항공기에 대해 INFO Frame에 대한 TX_Queue인 TXI_Queue와 Supervisory Frame(RR, SREJ)과 Unnumbered Frame(XID, FRMR, DISC, DM, TEST)에 대한 TX_Queue인 TXS_Queue를 한 개씩 갖는다.

LME로부터 데이터 전송 요청을 받으면 각 DLE의 INFO_Queue에 저장하고 DLS의 TXI_Queue에 전송한 후, Timer_List를 구성한다. 그리고 상대방으로부터 응답을 받으면 해당 데이터를 각 DLE의 INFO_Queue에서 삭제하고 해당 타이머를 Timer_List에서 삭제한다.

(나) TX_Queue Management 상세 설계



<그림 3-5-2-13> DL_DATA.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조

LME가 연결을 설정하게 되면 DLS에게 DLE_CREATE.req를 보내고 DLS는 각 연결 당 DLE를 생성하게 된다. 생성된 DLE는 DLE_Queue로 관리된다.

DLE_Queue의 자료 구조는 다음과 같다.

- Linkd ID : 해당 링크 ID
- DLE ID : 해당 DLE ID
- S.Addr : 송신측 주소
- D.Addr : 수신측 주소
- DLE Mode : 해당 DLE의 State
- V(S) : 다음에 송신할 프레임 번호
- V(R) : 다음에 수신할 프레임 번호
- Block Status : 링크 사용 상태
- T4_Cnt_N2 : Timer T4에 대한 재전송 Counter
- FRMR_Cnt_N2 : FRMR Frame에 대한 재전송 Counter
- Cnt_K : ACK가 확인되기 전 전송 가능한 INFO Frame의 Counter
- T1, T2, T3, T4 value : 해당 DLE의 Timer T1, T2, T3, T4 값
- XID Queue_Addr : XID_Queue를 가리키는 포인터
- INFO Queue_Addr : INFO_Queue를 가리키는 포인터
- SREJ Queue_Addr : SREJ_Queue를 가리키는 포인터

LME로부터 데이터를 송신한다는 DL_DATA.req Primitive를 받았다면, 먼저 status를 확인한다. status가 링크를 사용할 수 없는 BLOCK상태이면 해당 Frame를 버리고, status가 링크를 사용할 수 있는 UNBLOCK상태이면 프레임의 종류를 확인한다. 프레임의 종류가 INFO 프레임일 경우 INFO_Queue에 저장한다. INFO_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : INFO 프레임이 TXI_Queue에 저장된 유무를 나타내는 Flag

- Cnt_N2 : Timer T1 만료 시 해당 INFO Frame에 대한 재전송 Counter
- N(S) : INFO 프레임의 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- AVLC(INFO) Struct : INFO 프레임의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

DLE의 상태가 ABM State이면, TX_Queue.req로 TXI_Queue에 데이터를 전송한다. TXI_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : INFO 프레임이 VDR로 전송된 유무를 나타내는 Flag
- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- ASIP Seq : ASIP 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- Frame Type : 해당 프레임의 타입
- AVLC Struct : 해당 프레임(INFO, UI)의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

프레임을 TXI_Queue로 전송할 때, Timer_List를 구성한다. 프레임의 종류가 INFO, RR(P=1), SREJ(P=1), FRMR이면 Timer_List를 구성하여 T1 타이머를 시작시키고, INFO_Queue의 Cnt_N2값과 DLE_Queue의 T4_Cnt_N2와 FRMR_Cnt_N2 값을 1로 설정한다. Timer T1이 만료될 때마다, 각 Counter의 값을 증가 시키고 해당 프레임을 재전송한다. Timer_List의 자료구조는 다음과 같다.

- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- Expire Value : 타임아웃 값
- Kind of timer : Timer 종류 (T1, T3, T4)
- N(S) : 프레임의 송신 순서 번호

LME로부터 데이터를 송신한다는 DL_XID.req Primitive를 받았다면 프레임의 종류를 확인한다. XID 프레임일 경우 XID_Queue에 저장한다. XID_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : XID Frmae이 TXS_Queue에 저장된 유무를 나타내는 Flag
- Cnt_N2 : Timer T3 만료 시 해당 XID Frame에 대한 재전송 Counter
- N(S) : XID 프레임의 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- AVLC(XID) Struct : XID 프레임의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

TX_Queue.req로 TXS_Queue에 데이터를 전송한다. TXS_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : XID 프레임이 VDR로 전송된 유무를 나타내는 Flag
- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- ASIP Seq : ASIP 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- Frame Type : 해당 프레임의 타입
- AVLC Struct : 해당 프레임(Supervisory Frame, Unnumbered Frame)의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보 프레임을 TXI_Queue로 전송할 때, Timer_List를 구성한다.

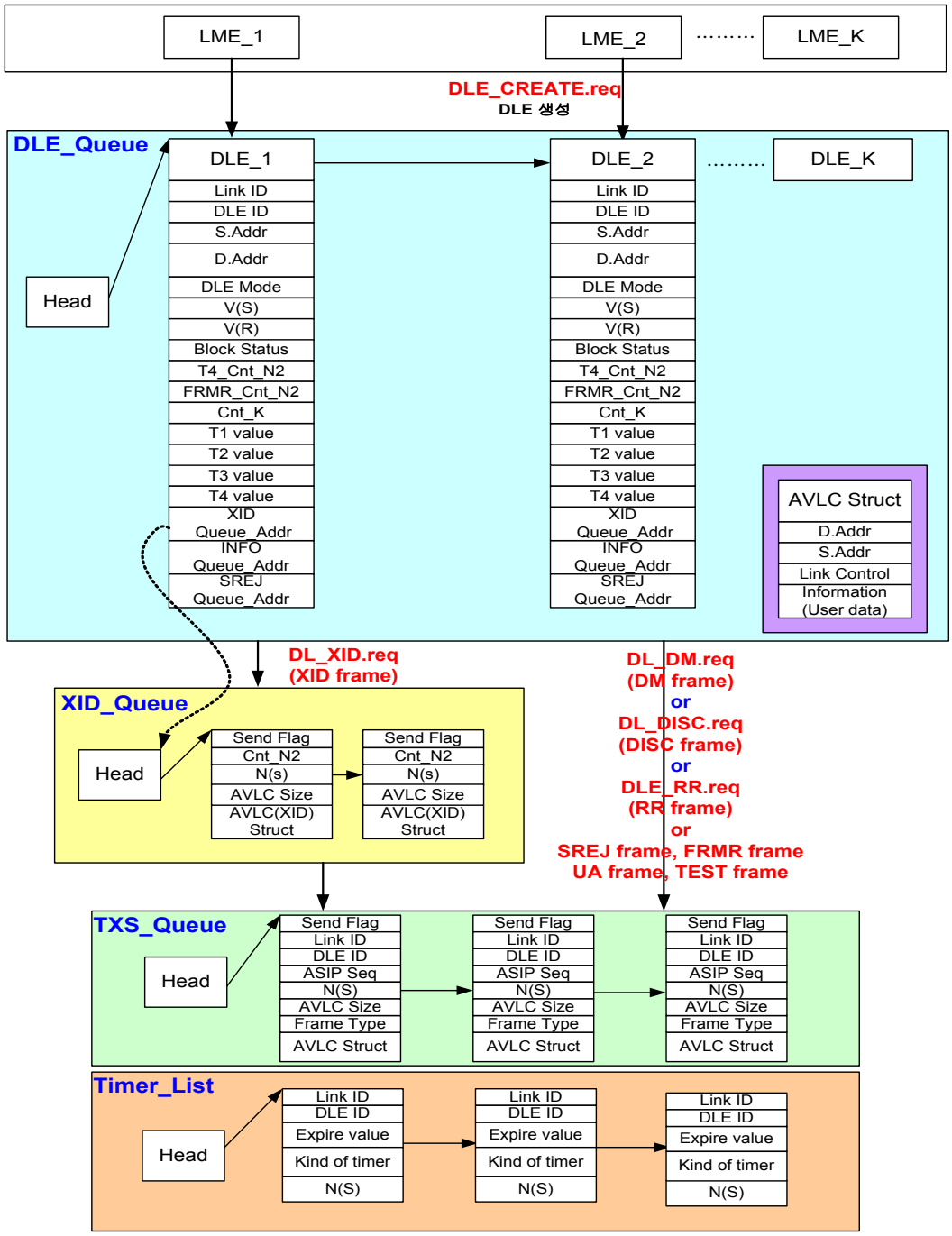
Timer_List의 자료구조는 다음과 같다.

- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID

- Expire Value : 타임아웃 값

- Kind of timer : Timer 종류 (T1, T3, T4)

- N(S) : INFO 프레임의 송신 순서 번호



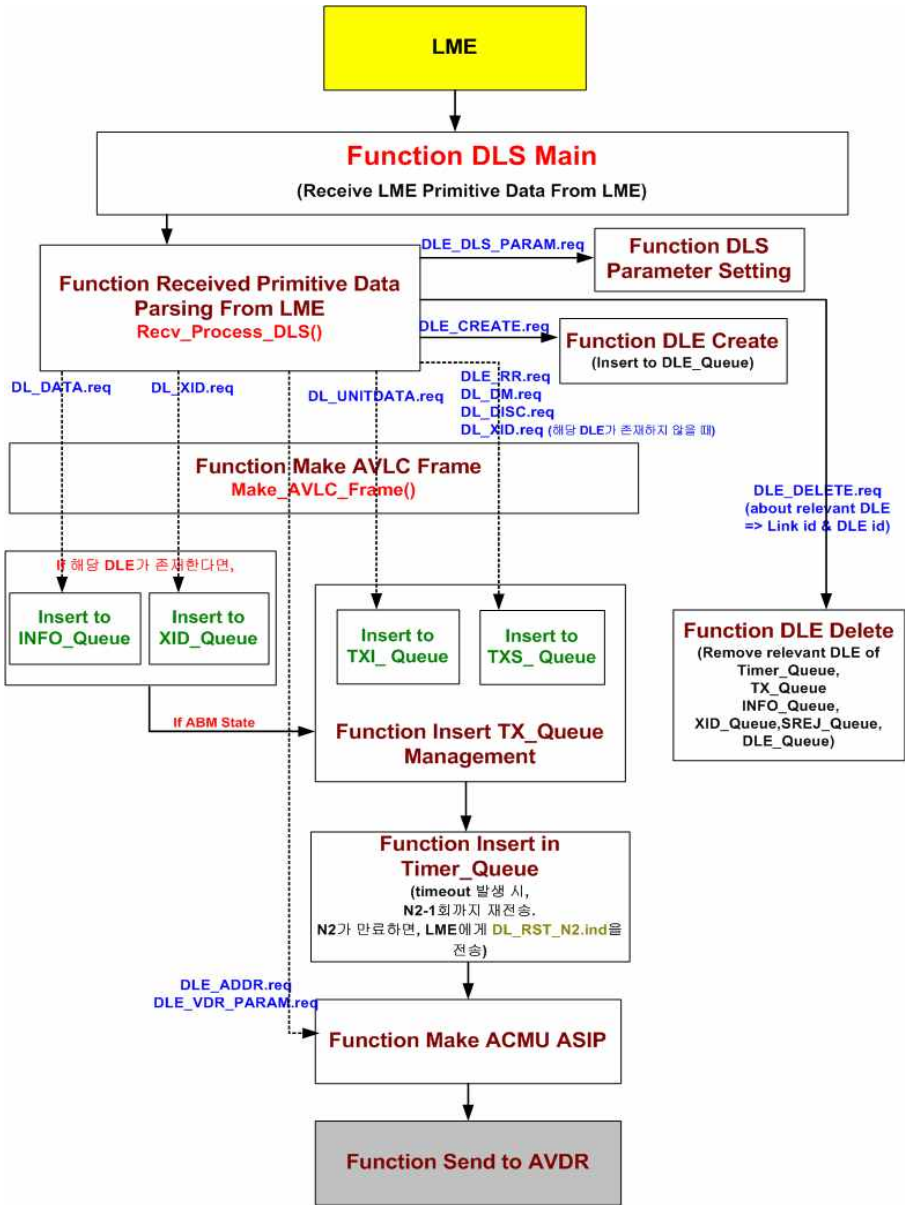
<그림 3-5-2-14> DL_XID.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조

Timeout 발생 시 현재 시간을 알아내고 Timer_List를 Scan하여 현재시간이 Timeout Value보다 크거나 같다면, Timer_List의 Link ID와 DLE ID의 정보를 이용하여 DLE_Queue에서 해당 DLE를 찾는다. 그런 다음, Timer_List에서 타이머 종류를 알아낸다. 타이머 종류가 T1 Timer일 경우, 해당 DLE의 INFO_Queue를 Scan하여 Timer_List의 N(S)와 INFO_Queue의 N(S)가 같은 노드를 찾은 후 TXI_Queue에 저장한다. 이때, INFO_Queue의 Cnt_N2를 증가시키고, Timeout이 발생된 노드를 Timer_List에서 삭제한다. Cnt_N2가 Parameter N2를 초과하게 되면, LME에게 DL_RST_N2.ind을 전달한다.

TX_Queue는 TXI_Queue와 TXI_Queue로 구성되며, TXS_Queue가 TXI_Queue보다 높은 전송 우선순위를 갖기 때문에 MAC 버퍼가 비어있을 때 TXS_Queue에 프레임이 존재하는지를 먼저 확인해야 한다.

DLE로부터 전송을 요청하는 TX_Queue.req Primitive를 받으면, 프레임을 확인하여 프레임이 INFO 또는 UI 프레임이면 TXI_Queue에 저장하고 Supervisory 프레임과 Unnumbered 프레임이면 TXS_Queue에 저장한다. 이때 RR, SREJ, FRMR, DM 프레임은 TXS_Queue에서 한 번만 저장되어야 하므로, TXS_Queue에 이미 해당 프레임중 하나가 저장되어 있는지를 확인해야 한다.

(다) DLS 상세 설계



<그림 3-5-2-15> Function Flow Diagram Send Received Data From LME to VDR

<그림 3-5-2-15>의 Function 블록은 LME에서 수신된 데이터를 DLS가 AVDR로 전송하는 역할을 하는 송신 흐름 다이어그램이다. DLS Main Function은 아래와 같이 Select 구조로 구현되었다.

```
int Main()
{

    ……

    serial_fd = Open_Serialport(...);
    if((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0)
    {
        return FALSE;
    }

    ……

    FD_ZERO(&read_fdset);
    FD_SET(sockfd, &read_fdset);
    FD_SET(serial_fd, &read_fdset);

    while(1)
    {
        ret = select(……);

        if(ret == SELECT_TIMEOUT)
        {
            TX_Queue Polling(…);
        }
        if(FD_ISSET(sockfd, &read_fdset)          // DSP로부터의 읽기 감지
        {
            Socket_Read_Parsing(...);
            Recv_Process_DLS(...);
        }
        if(FD_ISSET(serial_fd, &read_fdset)       // VDR로부터의 읽기 감지
        {
            Serial_Read_Parsing(...);
            Recv_Process_CMU_ASIP(...);
        }
    }
}
```

LME로부터 데이터를 송신한다는 Primitive를 받으면, 수신된 Primitive를 파싱하는 함수를 호출한다. 여기서 파싱된 데이터를 가지고 AVLC Frame을 만드는 함수를 호출하고, Insert TX_Queue Management 함수를 호출한다.

LME로부터 수신된 Primitive가 DL_DATA.req이면, 해당 DLE의 INFO_Queue에 INFO(AVLC) Frame을 저장하는 함수를 호출한다. 만약, DLE의 State가 ABM 상태이면, INFO(AVLC) Frame의 Link Control Field와 FCS를 계산하여 TXI_Queue에 저장하는 함수를 호출하고 T1 타이머에 대한 Timer List를 구성한다. T1 타이머 만료 시 Timer_List에서 타임아웃이 걸린 노드의 N(S)와 해당 DLE의 INFO_Queue를 Scan하여 N(S)가 같은 프레임을 찾아 재전송하기 위해 TXI_Queue에 저장한다. 재전송 후, INFO_Queue의 재전송 Counter인 N2값을 증가시킨 후, Timer_List에서 만료된 T1 Timer 노드를 삭제한다.

```
Recv_Process_DLS(...)
{
        switch(pid)
        {
                case DL_DATA.req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_INFO_process(...);
                        break;
                case DL_UNITDATA.req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_UI_process(...);
                        break;
                case DL_XID.req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_XID_process(...);
                        break;
                case DL_DISC_req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_DISC_process(...);
                        break;
                case  DLE_CREATE_req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Insert_DLE_Queue(...);
                        Make_DLE_CREATE_ind(...);
                        break;
                case DLE_ADDR.req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_ADDR_req(...);
                        break;
                case DLE_VDR_PARAM.req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_PARAM.req(...);
                        break;
                case DLE_DLS_PARAM.req :
                                ……
                        Primitive_Parsing(...);
                        Insert_PARAM_Queue(...);
                        Make_DLE_DLS_PARAM_conf(...);
                        break;
                case DLE_RR.req :
                                ……
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_RR_process(...);
                        break;
                case DLE_DELETE.req :
                                ……
                        Delete_DLE(...);
                        break;
                case DL_BLOCK.req :
                        DLE_status_change(dle, BLOCK);
                        break;
                case DL_UNBLOCK.req :
                        DLE_status_change(dle, UNBLOCK);
                        break;
        }
}
```

LME로부터 수신된 Primitive가 DL_XID.req이면, XID_Queue에 XID(AVLC) Frame을 저장하는 함수를 호출하고 TXS_Queue에 저장하는 함수를 호출한다. 그리고 T3 타이머에 대한 Timer List를 구성한다. T3타이머 만료 시 Timer_List에서 타임아웃이 걸린 노드의 N(S)와 해당 DLE의 XID_Queue를 Scan하여 N(S)가 같은

프레임을 찾아 재전송하기 위해 TXS_Queue에 저장한다. 재전송 후, XID_Queue의 재전송 Counter인 N2값을 증가시킨 후, Timer_List에서 만료된 T3 Timer 노드를 삭제한다.

LME로부터 수신된 Primitive가 DLE_ADDR.req이면, LME로부터 수신한 ICAO 24bit 주소를 AVLC 주소로 변환해서 ADDR.req를 만들어 AVDR에게 전송하고, DLE_VDR_PARAM.req이면 PARAM.req를 만들어 AVDR에게 전송한다. DLE_DLS_PARAM.req 이면, DLE_DLS_PARAM.conf을 만들어 LME에게 전송한다.

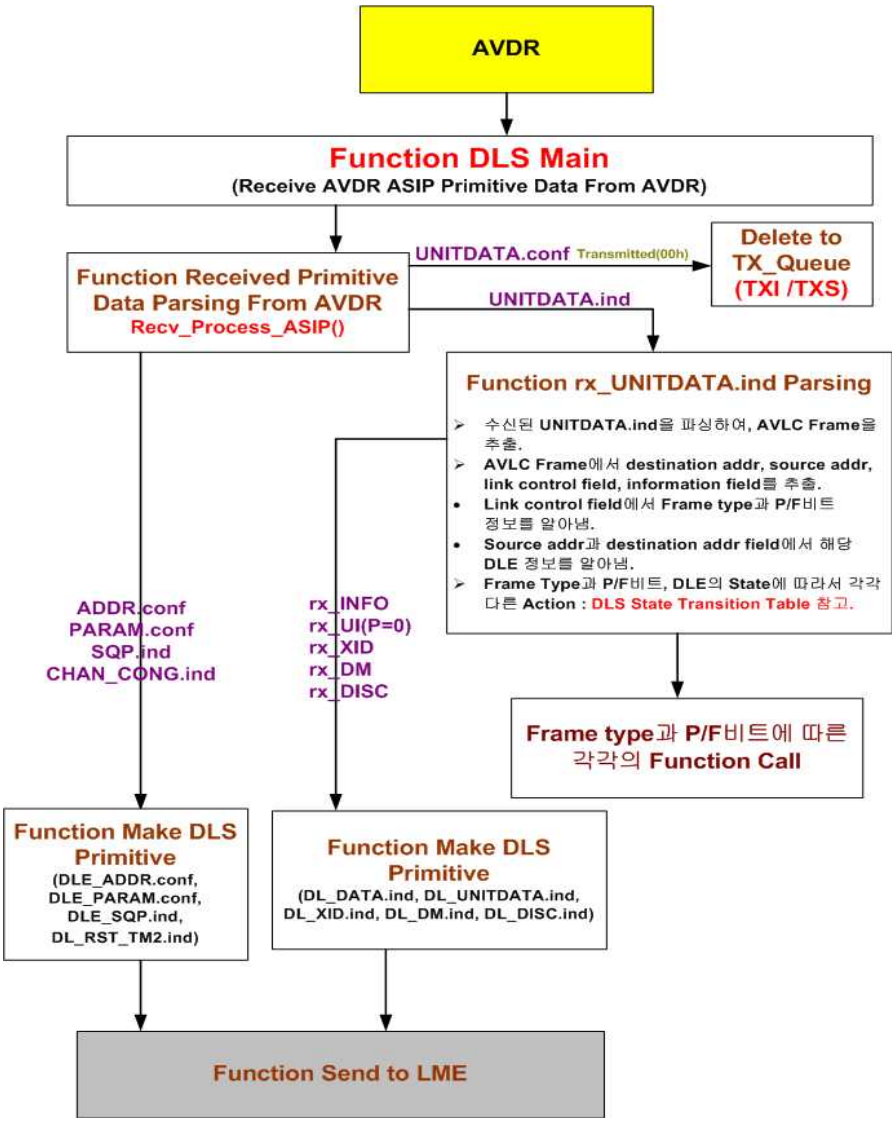
LME로부터 수신된 Primitive가 DLE_CREATE.req이면, DLE_Queue를 Scan하여 해당 DLE가 존재하는지 확인하여 해당 DLE가 존재하면 LME에게 result 필드가 0인 DLE_CREATE.ind을 전송한다. 해당 DLE가 존재하지 않는다면 DLE 노드를 생성하여 DLE_Queue에 삽입한 후 LME에게 result 필드가 1인 DLE_CREATE.ind을 전송한다.

그 외의 LME로부터 수신된 Primitive에 대해서는 파싱된 데이터를 가지고 AVLC Frame을 만드는 함수를 호출하고, TXI_Queue나 TXS_Queue에 저장한다.

TXS_Queue가 TXI_Queue 보다 높은 전송 우선순위를 갖기 때문에 만약, TXS_Queue에 프레임이 존재한다면 ASIP Primitive(UNITDATA.req)를 만들고 AVDR로 전송한다.

TXS_Queue가 비워졌다면 TXI_Queue에 있는 프레임에 대해 ASIP Primitive(UNITDATA.req)를 만들고 AVDR로 전송한다.

UNITDATAreq를 AVDR로 전송 시 TXS_Queue에 대한 순서 번호인 SQ_SN과 TXI_Queue에 순서번호인 IQ_SN를 설정하고 하나씩 증가한다.



<그림 3-5-2-16> Function Flow Diagram Send Received Data From VDR to LME

위의 그림의 Function 블록은 VDR에서 수신된 데이터를 DLS가 LME로 전송하는 역할을 하는 수신 흐름 다이어그램이다.

VDR로부터 ASIP Primitive를 받으면, 수신된 Primitive를 파싱하는 함수를 호출한다. VDR로부터 수신된 Primitive가 ADDR.conf, PARAM.conf, SQP.ind, CHAN_CONG.ind이면, 파싱된 데이터를 가지고 DLS Primitive를 만드는 함수를 호출한다. ADDR.conf는 Source Addr, Destination Addr, Multi Addr를 인자로 DLS Primitive(DLE_ADDR.conf)를 만드는 함수를 호출한다. PARAM.conf는 Frequency, TM1, TM2, M1, P를 인자로 DLS Primitive(DLE_PARAM.conf)를 만

드는 함수를 호출한다. SQP.ind는 SQP, Source Addr, Frequency를 파싱해서 DLS Primitive(DLE_SQP.ind)를 만드는 함수를 호출한다. CHAN_CONG.ind는 DLS Primitive(DL_RST_TM2.ind)를 만드는 함수를 호출한다.

이 함수에서 만들어진 DLS Primitive(DLE_ADDR.conf, DLE_PARAM.conf, DLE_SQP.ind, DL_RST_N2.ind)를 LME에게 전송한다.

VDR로부터 수신된 Primitive가 UNITDATA.conf이면, Sequence number를 인자로 delete TX_Queue Management 함수를 호출한다.

UNITDATA.conf의 5번째 Octet의 Transmit Status값이 transmitted(00h)이면, Sequence number에 해당하는 노드를 TXI_Queue나 TXS_Queue에서 찾아 삭제한다. discarded(01h)이면, Sequence number에 해당하는 노드를 TXI_Queue나 TXS_Queue에서 찾아 삭제하지 않고 Sequence number에 해당하는 삭제된 프레임을 다시 TXI_Queue나 TXS_Queue에 저장한다.

VDR로부터 수신된 Primitive가 UNITDATA.ind이면, Userdata(AVLC frame)의 Destination Addr를 파싱해서 내 주소로 전달된 것이 맞는지 확인하고 FCS와 Frame Type을 확인한다. 그리고 DLE_Queue에서 Source Addr와 Destination Addr에 해당하는 DLE 노드를 찾는다. Link Control Field에서 Frame Type과 P/F 비트 정보를 알아내서, DLE State에 따라서 각각의 해당하는 함수를 호출한다. 해당 DLE 즉 Link ID를 찾지 못하면, ADM State이므로 이에 해당하는 Action을 한다. Link ID가 있다면 ABM, SRM, FRM State이므로 이에 해당하는 Action을 한다.

```
Rx_Process_UNITDATA.ind(...)
{
        Primitive_Passing(...);
        switch(frame_type)
        {
                case INFO_FRAME :
                        RX_INFO_process(...);
                        break;
                case SREJ_FRAME :
                        if(PF_flag)
                           RX_F_bit_SREJ_process(...);
                        else
                           RX_P_bit_SREj_process(...);
                        break;
                case RR_FRAME :
                        if(PF_flag)
                           RX_F_bit_RR_process(...);
                        else
                           RX_P_bit_RR_process(...);
                        break;
                case DM_FRAME :
                        if(info_field_len!=0 && pdle != NULL)
                        {
                            RX_illegal_frame_process(...);
                        }
                        else
                        {
                            RX_DM_process(...);
                        }
                        break;
                case UA_FRAME :
                        if(pdle == NULL)
                        {
                            Make_AVLC_Frame(...);
                            TX_DM_process(...);
                        }
                        if(PF_flag)
                        {
                            RX_F_bit_UA_process(...);
                        }
                        else
                        {
                            RX_P_bit_UA_process(…);
                        }
                        break;

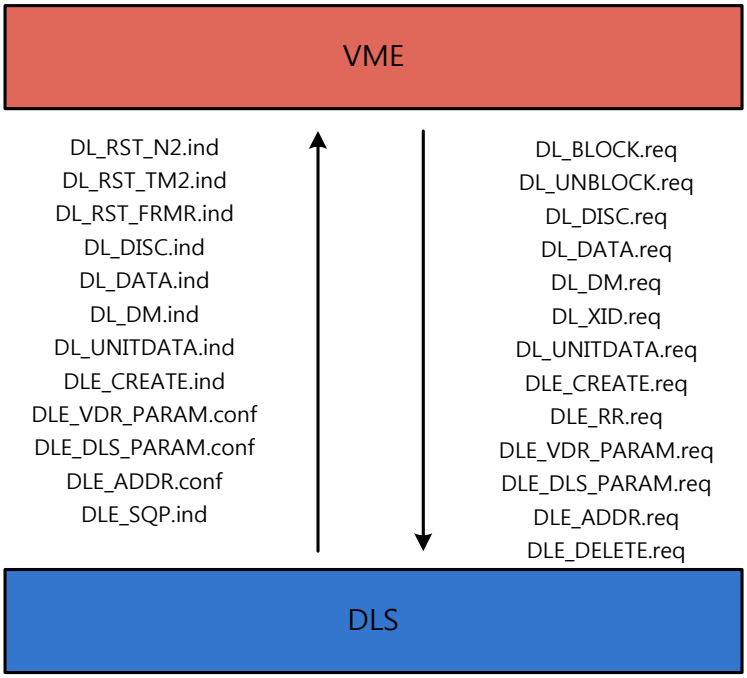
                        ……
                        ……
                        ……
                        ……
        }
}
```

(3) 외부 인터페이스

(가) VME/DLS 인터페이스

VME와 DLS간의 인터페이스는 이더넷 Loopback 인터페이스를 사용하며, 사용 프로토콜은 TCP/IP이다. VME와 DLS간에 송수신 되는 Primitive는 다음 <그림

3-5-2-17>과 같다.



<그림 3-5-2-17> Primitive Flow

다음은 각 Primitive 들의 프레임 포맷이다.

여기에서 Header는 0xD2이고 EOF는 0xFF를 사용한다.

DL_RST_N2.ind

1 31

Header	ID(0x01)	Length
Link ID	DLE ID	S. Addr
		D. Addr
		EOF

- N2 만료시 DLS가 VME에게 알리는 Primitive이다.
- XID에 대한 N2 만료시 Link ID와 DLE ID는 0 이고, Link ID가 0 일때는 S. Addr와 D. Addr이 유효하다.

DL_RST_TM2.ind

1 31

Header	ID(0x02)	Length
S. Addr		
EOF		

- GVDR에서 TM2 만료시 VME에게 알리는 Primitive이다. VME는 이 Primitive를 수신하면 해당 항공기에 대해 새로운 Ground station으로 핸드오프를 시작한다.

DL_RST_FRMR.ind

1 31

Header	ID(0x03)	Length	
Link ID	DLE ID	Cause	EOF

- DLS가 FRMR 모드로 진입하면서 VME에게 알리는 Primitive이다.

DL_DISC.ind

1 31

Header	ID(0x04)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

- DLS가 DISC 프레임을 수신하면 VME에게 알린다.

DL_BLOCK.req

1 31

Header	ID(0x06)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

- 링크가 일시적으로 사용할 수 없을 때 DLE를 block 시킬 때 사용한다.

DL_UNBLOCK.req

1 31

Header	ID(0x07)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

- 블록된 링크가 복구 되었을 때 사용한다.

DL_DISC.req

1		31
Header	ID(0x08)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

- VME가 DLS에게 DISC 프레임을 전송 요청하는 Primitive이다.

DL_DATA.ind

1		31
Header	ID(0x05)	Length
Link ID	DLE ID	S. Addr
		D. Addr
User Data (1 ~ 2048 Bytes)		
		EOF

- DLS가 VME에게 unicast 데이터 수신을 알리는 Primitive이다.
- 링크가 되어 있는 곳으로부터 수신하면 Link ID를 세팅하고 링크가 없는 곳으로부터 수신하면 Link ID를 0으로 하고 S. Addr과 D. Addr을 세팅한다.

DL_DATA.req

1		31
Header	ID(0x09)	Length
Link ID	DLE ID	
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

- VME가 DLS에게 unicast 데이터 전송 요청을 하는 Primitive이다.

DL_XID.ind

1 31

Header	ID(0x011)	Length
S. Addr		
D. Addr		
C/R	P/F	
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

- DLS가 VME에게 XID 프레임 수신을 알리는 Primitive이다.

DL_XID.req

1 31

Header	ID(0x15)	Length
Retx	D. Addr	
	C/R	P/F
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

- VME가 DLS에게 XID 프레임을 전송 요청하는 Primitive이다.

DL_DM.ind

1 31

Header	ID(0x12)	Length
S. Addr		
D. Addr		
EOF		

DL_DM.req

1 31

Header	ID(0x14)	Length
D. Addr		
EOF		

DL_UNITDATA.ind

1 31

Header	ID(0x13)	Length
S. Addr		
D. Addr		
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

- DLS가 VME에게 Broadcast 데이터 수신을 알리는 Primitive이다.

DL_UNITDATA.req

1		31
Header	ID(0x17)	Length
D. Addr		
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

- VME가 DLS에게 Broadcast 데이터 전송 요청 Primitive이다.

DLE_CREATE.req

1		31	
Header	ID(0x21)	Length	
Link ID	DLE ID	S. Addr	
		D. Addr	
		A/G	EOF

- VME가 DLS에게 DLE 생성 요청 Primitive이다.

DLE_CREATE.ind

1		31	
Header	ID(0x22)	Length	
Link ID	DLE ID	Result	EOF

- DLS가 VME에게 DLE 생성 결과를 알려준다.

DLE_RR.req

1		31
Header	ID(0x23)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

- VME는 유효한 Info 프레임을 수신하면 DLE에게 RR 을 전송하도록 요청한다.

DLE_VDR_PARAM.req

1 31

Header	ID(0x24)	Length	
Freq		TM1	TM2
M1		p	EOF

- VME가 VDR의 내부 파라메터를 세팅하기 위한 Primitive이다.

DLE_VDR_PARAM.conf

1 31

Header	ID(0x25)	Length	
Freq		TM1	TM2
M1		p	EOF

- VDR이 DLE_VDR_PARAM.req에 대한 응답으로 VME에게 전송한다.

DLE_ADDR.req

1 31

Header	ID(0x26)	Length
Source Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

- VME가 DLS와 VDR의 주소를 세팅하기 위한 Primitive이다.

DLE_ADDR.conf

1 31

Header	ID(0x27)	Length
Source Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

- DLE_ADDR.req에 대한 응답이다.

DLE_SQP.ind

1 31

Header	ID(0x28)	Length
S. Addr		
D. Addr		
SQP	Freq	EOF

- VDR은 유효한 데이터를 수신하면 신호 품질을 측정을 해서 VME에게 알린다.

DLE_DLS_PARAM.req

1 31

Header	ID(0x2A)	Length
N1-Downlink		N1-Uplink
k-down	k-up	T1 downlink
		T2
N2	T4	T3 min
	EOF	

- VME가 DLS의 내부 파라메터를 세팅하기 위한 Primitive이다.

DLE_DLS_PARAM.conf

1 31

Header	ID(0x2B)	Length
N1-Downlink		N1-Uplink
k-down	k-up	T1 downlink
		T2
N2	T4	T3 min
	EOF	

- DLE_DLS_PARAM.req에 대한 응답이다.

- 현재 설정된 파라메터를 설정해서 응답한다.

DLE_DELETE.req

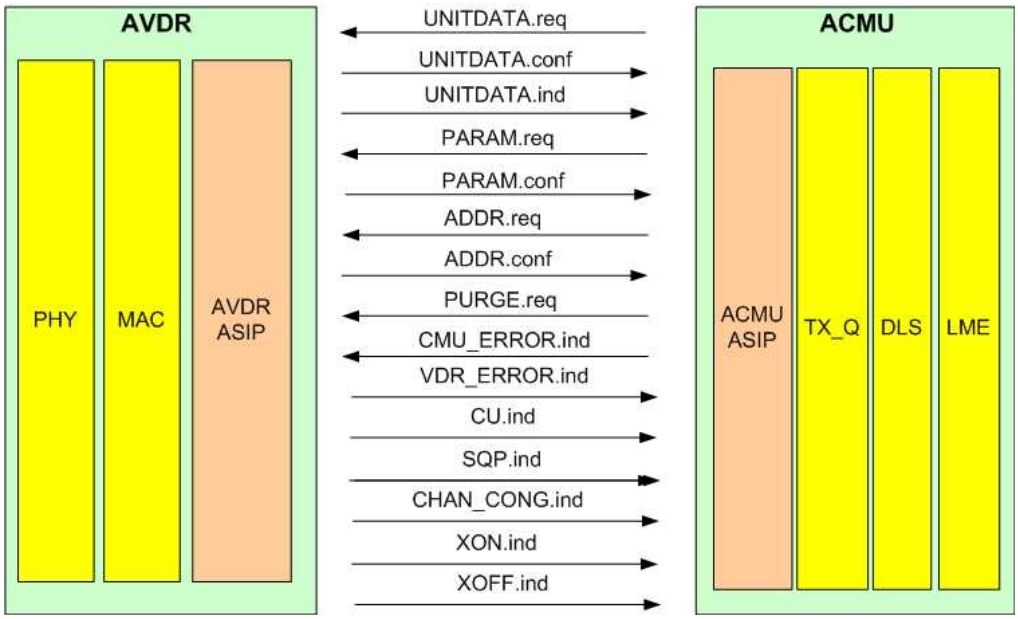
1 31

Header	ID(0x29)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

- DLE를 삭제하기 위한 Primitive이다.

(나) VDR 인터페이스

① 프리미티브 블록 다이어그램 (Primitive Block Diagram)



<그림 3-5-2-18> VDR과 CMU사이의 Primitive Block Diagram

위의 그림은 VDR과 CMU사이에서 교환되는 명령과 데이터 전송을 위한 primitive를 나타내고 있다. CMU의 DLS, TX_Queue와 VDR의 MAC, PHY간의 프리미티브들과 대응되는 프리미티브를 블록 다이어그램으로 나타내었다.

② 프리미티브 포맷 정의 (Primitive Frame Format Define)

PARAM.req

PARAM.req

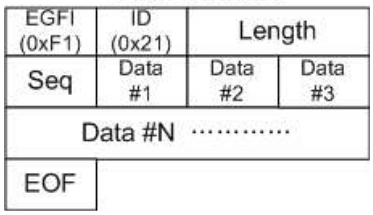
EGFI (0xF1)	ID (0x20)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	EOF

- CMU가 VDR로 보내는 운영 인자값 메시지이다. 이 인자값에는 주소는

포함되어 있지 않고, 주파수와 MAC 동작시 필요한 작동 모드가 포함되어 있다.

UNITDATA.req

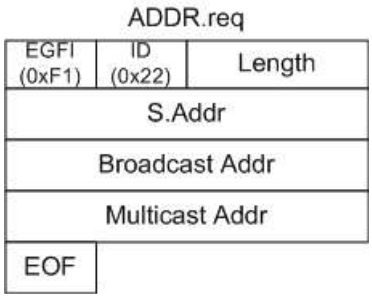
UNITDATA.req



- ACMU가 AVDR에 AVLC 데이터를 보내기 위한 메시지이다.

ADDR.req

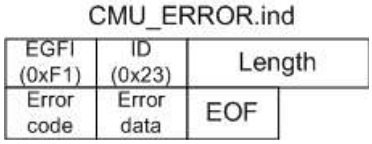
ADDR.req



- ACMU가 AVDR로 보내는 주소 스크린을 위해 AVDR이 사용하는 주소 운영 메시지이다.

CMU_ERROR.ind

CMU_ERROR.ind



- ACMU가 전송하는 프로토콜 오류를 나타내는 메시지이다. 프로토콜 에러는 아래 표에 명시하였다.

PARAM.conf

PARAM.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x50)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	EOF

- AVDR이 보내는 메시지로 현재운용 인자값을 포함한다. ACMU가 보내는 PARAM.request에 대한 응답 메시지이다.

UNITDATA.ind

UNITDATA.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x51)	Length	
Frequency		Data #1	Data #2
Data #N ·····			
EOF			

- AVDR이 ACMU로 보내는 AVLC 데이터를 포함한 메시지이다.

ADDR.conf

ADDR.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x52)	Length
S.Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

- AVDR이 ACMU가 보낸 ADDR.request에 응답하여 보내는 것으로 DAS(Destination Address Set)에 저장된 주소를 포함한다.

VDR_ERROR.ind

VDR_ERROR.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x53)	Length
Error code	Error data	EOF

- AVDR이 ACMU에게 전송하는 프로토콜 오류를 나타내는 메시지이다. 프로토콜 에러는 <표 3-5-2-2>에 명시하였다.

<표 3-5-2-2> VDR이 CMU에게 전송하는 프로토콜 오류 메시지

Error Condition	Sender	Error Code	Error Data
Unspecified Error	CMU/VDR	0x00	Don't care
Unrecognized PID	CMU/VDR	0x01	Offending PID
BADDATA	CMU/VDR	0x02	Offending PID
VDR transmit buffer overflow	VDR	0x03	None
Out of sequence or unexpected primitive	CMU/VDR	0x04	Offending PID

SQP.ind

SQP.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x54)	Length
SQP	S.Addr	
	Frequency	EOF

- VDR이 수신한 데이터의 전체 프레임 FCS가 정상일 때 CMU에게 보고하는 "QOS(Quality of Service)" 메시지이다.

CU.ind

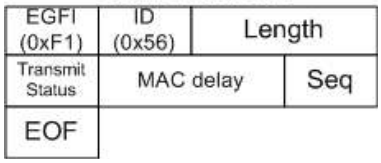
CU.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x60)	Length
CU	EOF	

- VDR이 CU(Channel Utilization: 채널 사용량) 파라미터를 CMU로 보내는 메시지이다. CU의 값이 100(64h)이면 채널이 100% 사용되고 있다는 것을 나타낸다. CU.indication 메시지는 초당 1개씩 전송된다.

UNITDATA.conf

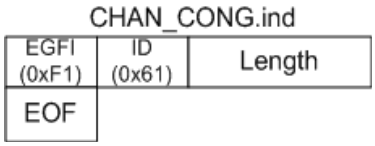
UNITDATA.conf



- VDR이 CMU로 보내는 메시지로서 전송된 프레임의 MAC Delay, 또는 프레임이 전송이 잘 되었는지의 확인응답이 포함된다. MAC Delay 시간은 송신버퍼에 진입하는 순간부터 전송이 완료된 시간까지이다. MAC Delay의 정확도는 2ms이며 최대값은 216 * 2 msec = 131초가 된다. sequence number는 UNITDATA.request에 포함된 sequence number를 복사한 값이며, 해당 메시지의 확인 응답이 된다. CMU는 Transmit status 값이 '01' 일 때, MAC Delay 필드는 무시한다.

CHAN_CONG.ind

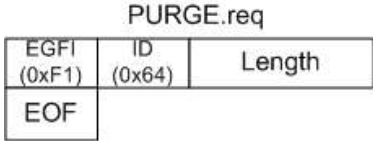
CHAN_CONG.ind



- VDR이 CMU로 보내는 메시지로 RF 채널의 혼잡을 표시하는 메시지이다. RF 채널의 혼잡은 TM2 타이머가 만료될 때 감지된다. TM2 타이머는 송신버퍼로 데이터가 들어올 때 시작되고, 전송을 완료 했을 때 정지된다. 하지만 TM2 시간동안 데이터를 전송하지 못하면 TM2 타이머가 만료되고, VDR은 RF 채널이 혼잡하다고 판단하고 CHAN_CONG.indication 메시지를 CMU로 보낸다.

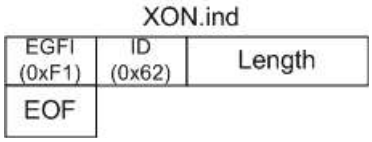
PURGE.req

PURGE.req



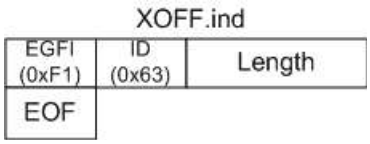
- CMU가 VDR의 송신버퍼를 비우도록 하는 명령어이다.

XON.ind



- VDR에서 데이터를 수용할 수 있다는 의미이다.

XOFF.ind



- VDR에서 더 이상 데이터를 수용할 수 없다는 의미이다.

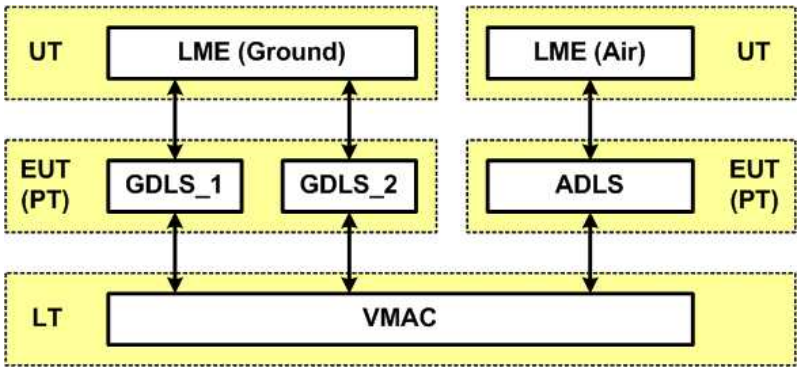
나. 탑재 통신관리기(CMU) 시험

CMU 소프트웨어의 성능 검증을 위해 필요한 파라미터에 대한 시험절차 항목을 구성하고, 각 항목별 검증을 위한 시험방법을 설정하였다. 또한 시험 종류와 항목에 따른 요구조건 충실도 비교표를 구성하여, 항목별 시험방법을 도출하였다. 소프트웨어 성능 검증을 위한 요구조건은 RTCA DO-224B를 기준으로 하였으며, 각 항목별 시험 절차와 방법에 있어서는 RTCA DO-281A를 참고하여 설정하였다.

별도의 시험용 시스템을 구축하지 않았으므로 단품 시험을 위해서는 탑재와 지상장비의 연결이 필요하다. CMU의 경우 소프트웨어 계층이 DLS와 VME로 구성되는데, 이는 별도로 구분하여 시험하지는 않고, 통합하여 시험을 수행하였다. 시험결과는 RCC (Requirement Compliance Checklist)를 만족할 수 있도록 구성되었으며, RCC는 RTCA DO-224B 요구조건을 만족하는지 여부를 확인하기 위해 항목별 시험 방법을 정리한 것이다. 시험에 있어서 EUT, UT, LT를 <그림 3-5-2-19>와 같이 구성하였다. DLS 소프트웨어는 항공기와 지상이 동일하므로 별도로 구분하지 않았고, UT의 경우에는 Ground와 Air를 명시하였다. 본 단품시험의 결과는 VDR

의 성능과 무관하여야 하는데, 현재 성능이 검증된 하드웨어의 사용이 불가하여 VMAC이라고 하는 별도의 소프트웨어를 구성하여 가상의 MAC처럼 동작하도록 설정하였다. VMAC의 기능 한계로 DO-281A에 언급된 모든 시험을 수행할 수는 없으므로, 필요한 시험에 대해서는 인터페이스 시험과 실험실 시험으로 남겨두었다.

구성품시험 결과는 CMU, DSP, GS에 대해 별도로 구성되지만, 대체로 CMU의 내용이 GDSP와 GS의 내용을 포함하고 있다. 지상 시스템에만 관련된 사항으로는 TG3와 TG4가 있는데, 이는 CMU 시험절차 이후에 별도로 구성하였다. 단품시험에서는 요구되는 시험 항목에 대해 성능규격을 모두 만족하는 것으로 확인되었으며 시험항목과 시험내용, 규격을 만족하는지 여부에 대해 <표 3-5-2-3>에 나타내었다.



<그림 3-5-2-19> 시험 준비

<표 3-5-2-3> CMU 시험항목 및 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
프레임 시퀀싱	중복된 프레임은 버리고 모든 프레임은 1회씩 순서대로 정상적으로 전달되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.1	중복된 프레임이 제거되었으며, 모든 프레임은 1회씩 순서대로 전달되었음.	합격
에러 검출	FCS가 맞지 않는 프레임을 제거하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.2	FCS가 맞지 않는 프레임은 제거되고, CRC 에러를 출력하였음.	합격
데이터 전송	INFO, UI, XID 프레임의 정보 필드가 전송되어야 한다. 2,048 크기의 옥텟은 분할없이 전송되어야 한다. INFO 프레임에는 오직 1개의 사용자 패킷만이 포함되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.5	INFO, UI, XID 프레임의 정보 필드를 확인하였다. 2,048 크기의 옥텟을 전송하여 분할없이 전송되었음. 연속된 짧은 데이터 항목들에 대해 각각의 INFO 프레임이 생성되었음.	합격
프레임 포맷	모든 AVLC 프레임 포맷의 주소 구조는 ISO 3309과 DO-224A를 따라야한다. SREJ, XID 프레임의 정보 필드는 DO-224A를 따르고, 그 외 프레임에 대해서는 ISO 4335를 따라야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.2.1 3.2.2.4.2.6	AVLC 프레임 구조를 분석하여 ISO 3309 및 RTCA DO-224A를 따름을 확인하였음. SREJ, XID 프레임 정보 필드가 DO-224A 규격을 따르고, 그 외에는 ISO 4335를 따름을 확인하였음.	합격
타이머 T1	INFO 프레임을 전송한 후 응답이 수신되지 않으면 T1 시간마다 프레임을 재전송하고, 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.1	INFO 프레임이 T1 시간간격에 따라 재전송되고, RR을 수신하면 재전송을 멈춤을 확인하였음.	합격

<표 3-5-2-3> CMU 단품시험 만족 결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
파라미터 T2	INFO 프레임을 수신하면 T2 시간내에 RR 또는 INFO 프레임으로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.2	INFO 프레임을 수신한 후 RR 프레임을 전송하는데 걸리는 시간이 T2 임을 확인함.	합격
타이머 T3	XID_CMD 프레임을 전송한 후 응답을 수신하지 않으면 T3 시간마다 해당 프레임을 재전송하여야 한다. 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.3	XID_CMD 프레임을 전송 한 후 상대방이 응답하지 않을 때, T3 시간간격에 따라 해당 프레임이 재전송되었고, 응답을 수신한 후 재전송을 중단하였음.	합격
타이머 T4	ABM, SRM, FRM 모드에 따라 수신되는 프레임이 없는 상태에서 T4 시간간격에 따라 지속적으로 더 이상 보낼 메시지가 있는지를 물어보는 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.4	T4 시간동안 수신된 프레임이 없을 경우, ABM 모드에서는 RR(P=1)을, SRM 모드에서는 SREJ(P=1), FRM 모드에서는 FRMR(P=1)을 전송함을 확인하였음.	합격
파라미터 N1	N1 파라미터가 정상적으로 설정되고, N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 전송되어야 한다. N1보다 큰 프레임을 수신하면 FRMR 프레임을 송신하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.5	지상에서 설정한 N1 파라미터 설정값이 항공기 시스템에 적용됨을 확인함. N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 처리되지만 N1 보다 큰 프레임은 처리되지 않고, FRM 모드에서 FRMR 프레임이 전송되었음	합격
카운터 N2	T1, T3 타이머에 따른 프레임의 재전송에 있어 가능한 총 전송횟수는 N2회여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.6	T1, T3 타이머에 의한 재전송이 총 N2-1회 이루어져, 총 전송횟수는 N2회임을 확인함.	합격
파라미터 k	응답 없이 최대 전송 가능한 프레임의 개수는 k 개여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.7	원격 응답이 없는 상황에서 k 개의 프레임까지 전송될 수 있음을 확인함.	합격

<표 3-5-2-3> CMU 단품시험 만족 결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
DISC 프레임	DISC를 송수신하는 시스템은 현재 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.1	DISC를 송수신하면 현재 링크를 종료함을 확인하였고, 항공기는 새로운 링크 설립을 시도하였음	합격
DM 프레임	현재 링크가 없을 때, 데이터를 수신하면 DM 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.2	링크가 없는 상태에서 자신의 주소로 수신된 프레임에 대해 DM 프레임을 전송함을 확인함	합격
SRM 모드	전송 중 누락된 INFO 프레임에 대해서는 SREJ 프레임을 보내어 재전송을 요청하여야 하며, SREJ 프레임을 받으면 요청된 프레임에 대해 재전송을 수행하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.4	하나의 프레임, 연속적인 두 개 이상의 프레임, 비 연속적인 두 개의 프레임을 누락시켜, 수신측에서 SREJ 프레임을 통해 재전송을 요청함을 확인하였고, 이에 대해 누락된 프레임을 재전송하는지 확인하였음	합격
P/F 비트	반드시 응답을 요하는 프레임에 대해서는 P=1로 설정하고, P=1 프레임에 대해서는 F=1로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.6	수신응답이 없을 때 연속적인 k개의 프레임에 대해 k-1개 프레임은 P=0이며, k번째 프레임은 P=1로 전송됨을 확인하였고, P=0에 대해서는 F=0 응답을 P=1에 대해서는 F=0 응답을 수신함을 확인하였음.	합격
브로드캐스트 주소 지원	탑재와 항공국 모두 수신할 수 있는 브로드캐스트 주소를 지원하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.4	브로드캐스트 주소로 전송되는 GSIF 프레임에 대해 수신하는 모든 항공기가 응답할 수 있음을 확인하였음.	합격

<표 3-5-2-3> CMU 단품시험 만족 결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
LME 절차	낮은 주소값을 가진 국이 더 높은 우선순위를 가진다.	DO-224B 3.2.2.4.7.2	동일한 HO 명령에 대해 항공기와 지상국이 동시에 전송하여, 주소값이 낮은 항공기는 HO 응답을 계속 기다리고, 주소값이 높은 지상국은 HO 명령을 포기하고 항공국의 HO 명령에 대해 응답하는지 확인하였음.	합격
전송 우선순위	Supervisory 프레임이 Information 프레임보다 높은 우선순위를 가진다.	DO-224B 3.2.2.4.10.1.2	Information 프레임과 Supervisory 프레임이 동시에 버퍼에 있을 때, Supervisory 프레임이 먼저 전송됨을 확인하였음.	합격
타이머 TG2	정상적인 링크 상태에서 TG2 시간(상대 station으로부터 아무런 frame의 수신없이 정보를 유지하는 최대 시간)이 지날 때까지 아무런 프레임을 수신하지 못하면 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.2	링크 설립 후 TG2 시간동안 서로간 아무런 프레임을 전송하지 않고 있다가, TG2가 만료되면 링크가 종료되는지 확인하였으며, 이 후 프레임을 전송하면 DM 응답을 수신하는지 확인하였음.	합격
타이머 TG5	핸드오프를 하는 동안 기존링크를 유지하는 최대 시간은 TG5이다.	DO-224B 3.2.2.5.3.5	핸드오프를 완료한 후 기존링크가 제거되기까지의 시간이 TG5인지 확인하였으며, 이 후 예전 링크로 데이터를 전송하였을 때 DM 응답을 수신하는지 확인하였음.	합격
링크 파라미터 변경 명령 처리	링크 파라미터 변경 명령을 수신하면 프레임의 내용에 따라 탑재장비의 링크 파라미터를 변경하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.5.2	XID_CMD_LPM에서 수정한 내용이 항공기에 적용되는지 확인하였음.	합격

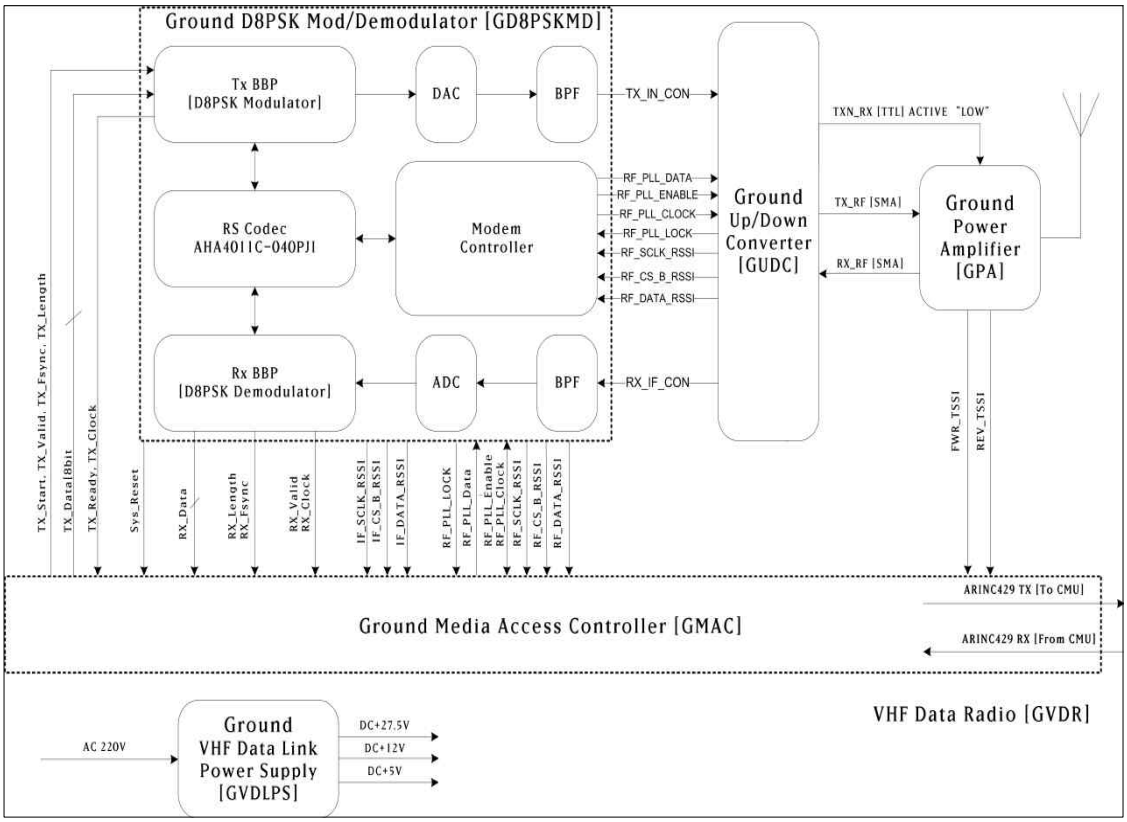
<표 3-5-2-3> CMU 단품시험 만족 결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
Aircraft-Initiated Handoff	핸드오프가 발생하여야 하는 상황이 되면 항공기가 적절한 지상국을 선택하여 핸드오프를 시도하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.6.1	현재 연결중인 지상국의 SQP를 낮추면 주변의 신호감도가 높은 지상국에 핸드오프를 시도하는지를 확인함.	합격
Ground-Initiated Handoff	지상국으로부터 핸드오프 요청을 수신하면 파라미터를 검토하고, 적절한 경우 이에 응답하여 핸드오프를 수행하여야 한다. 파라미터가 부적절하거나 핸드오프 수행이 불가한 경우 핸드오프를 거절하고, 사유를 명시하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.8.2	지상국으로부터 핸드오프 요청을 받고, 이에 따라 파라미터를 수정하고 핸드오프에 응답하여 핸드오프를 수행함을 확인하였음.	합격

3. 지상국(GS) 개발

가. 지상용 VDR(Ground VDR)

지상국에서 VHF 데이터 송수신을 담당하는 GVDR은 지상용 전원공급기, 상하향 주파수 변환기, 고출력증폭기, D8PSK 변복조기, MAC으로 구성되며, 구성도는 <그림 3-5-3-1>과 같다.



<그림 3-5-3-1> 지상용 초단파 데이터 송수신기 구성도

25W의 송신 출력과 송수신 스위치를 담당하는 블록, 117.975~137MHz의 고주파 신호를 중간 주파수 대역으로 변환하기 위한 상 하향 변환기, D8PSK 신호를 변조 혹의 복조하기 위한 블록과 물리계층 제어기(Physical Layer Controller), CSMA 알고리즘과 통신관리 장치(CMU)와의 인터페이스를 제공하기 위한 제어기로 구성된다.

(1) 지상용 고출력 증폭기 (Ground Power Amplifier)

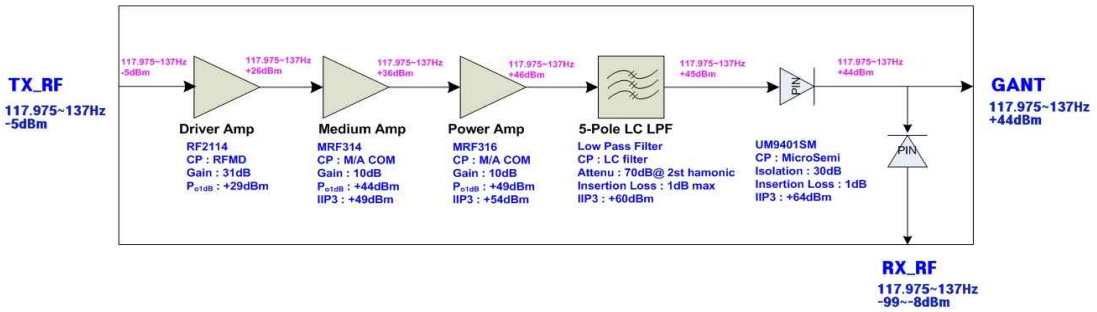
지상용 고출력 증폭기는 GUDC로부터 제공받은 117.395~137MHz 0dBm RF신호를 Antenna를 통해 25W로 출력하거나 Antenna를 통해 수신된 신호를 GUDC로 제공한다. 또한 송신신호세기(TSSI)를 감지하기 위한 회로를 내장하고 있다. 지상용 고출력 증폭기의 설계 사양은 <표 3-5-3-1>과 같다.

<표 3-5-3-1> 지상용 고출력 증폭기(GPA) 설계 사양

항 목	설 계 사 양
입력 주파수	117.975 ~ 137MHz
입력 전력	-5dBm
출력 주파수	117.975 ~ 137MHz
출력 전력	+43.98dBm (25W)
이득 안정도	±1dB max
주파수 안정도	1ppm max
송신신호세기(TSSI)	0~3V
송, 수신 Isolation	30dB min.

(가) 시스템 구성

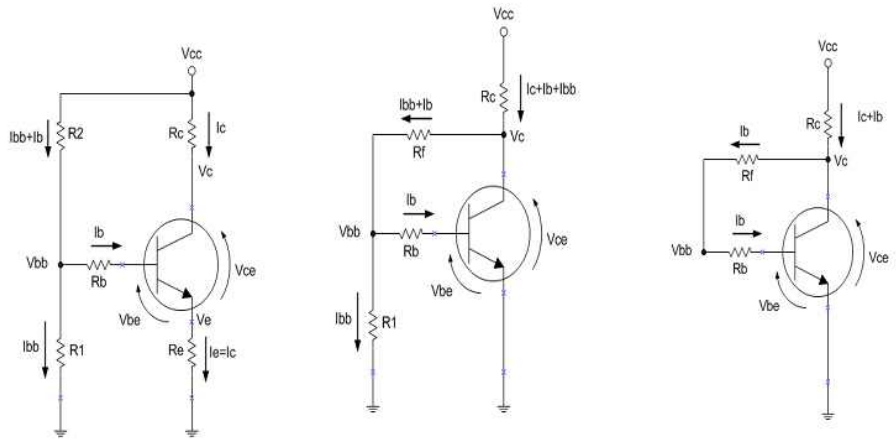
고출력 증폭기는 상향 변환기로부터 입력되는 D8PSK 신호를 25W의 송신 출력을 제공되도록 증폭한다. A급 증폭기는 동작점이 활성영역의 중간에 위치하여 선형성은 양호하나 항상 전력이 소모되며, 효율이 좋지 않다. 반면 B급 증폭기는 Crossover distortion이 발생하고, 전력 소모는 A급 증폭기에 비해 효율이 좋다. D8PSK 변조되어 입력된 0dBm 신호를 선형성을 갖는 25W신호로 출력하기 위한 Amplifier로 위의 그림에서 보는 것과 같이 Gain Block과 Drive Amp 그리고 2개의 고출력 증폭기가 사용되며, 하모닉과 스퓨리어스를 최소화하기 위해 각 소자의 입출력 단에 3-Pole 저역통과 필터를 삽입한다. 구성도에는 명시하지 않았다. Tx/Rx 선택 스위치를 이용하여 안테나를 출력 또는 입력으로 사용 할 수 있도록 한다. 고출력 증폭기 구성도와 같이 단의 총 이득은 선형성을 유지할 수 있도록 4-5dB정도의 마진을 갖도록 설계하였다.



<그림 3-5-3-2> 지상용 고출력 증폭기(GPA) 구성도

(나) 바이어스회로 설계

온도 변화가 매우 큰 고출력 증폭기에서는 일정한 이득, 잡음 지수들을 유지하며 신뢰성 있는 증폭이 필요하기 때문에 반드시 적당한 직류 바이어스 회로가 설치되어야 한다.



<그림 3-5-3-3> 바이어스 종류

온도가 변하게 되면 직류 동작점에 매우 큰 영향을 주는 트랜지스터 내부 특성으로는 ΔVbe와 Δβ가 있다. 상온에서 바이어스가 약 0.7V인 트랜지스터에서 온도가 높아짐에 따라 Vbe가 약 2.5mV/℃의 비율로 감소된다. 이와 같이 온도 상승에 따라 Vbe가 줄어들면 더 많은 베이스 전류가 흐르게 되고, 이 결과 컬렉터 전류도 증가하게 되므로, 이와 같은 결과가 나타나지 않도록 설계하는 일이 중요하다. ΔVbe의 영향을 최소화시키기 위해 사용할 수 있는 것은 트랜지스터의 이미터 전압(Ve)이며, <그림 3-5-3-3>의 바이어스 회로 1에서 보는 것과 같이 설계할 수 있

다. Ve가 크면 클수록 온도에 대한 안정도가 더 좋아지므로 일정한 동작점으로 트랜지스터를 바이어스 하기만 하는 조건이면 문제가 없을 것으로 보이지만, 그러나 회로 설계하 때 이미터 전압이 커지면 커질수록 전력이 많이 소비되고 신호 이득이 작아지는 문제점이 발생하게 된다. 여기에는 Re에 병렬로 콘덴서를 연결하면 신호 이득의 감소를 방지할 수 있지만 전력이 많이 소비되는 문제점은 해결하지 못한다는 문제점이 있다. β가 변하면 컬렉터 전류도 따라서 변하게 되고 결과적으로 동작점도 변하게 될 것이다. 실리콘 트랜지스터의 β는 온도 변화에 대해 0.5%/℃즉, 변화된 온도 곱하기 0.5%만큼 변하므로 만일 온도가 ±50℃ 변하면 β는 ±25%만큼 크게 변하게 되기 때문에 트랜지스터의 직류 전류 이득 즉, β가 온도에 따라 변하는 것도 중요한 사항이다. β 변화에 대한 Ic 변화는 (식 3-5-6)과 대략적으로 정의할 수 있다.

$$\Delta I_C = I_C1(\Delta\frac{\beta}{(\beta1\beta2)})(1+\frac{R_B}{R_E}) \qquad (3\text{-}5\text{-}6)$$

Ic1 = β = β1

β1= β의 최소값

β2= β의 최대값

Δβ= β2-β1

RB= R1과 R2의 병렬 결합(바이어스 회로 1)

RE= 이미터 저항

회로 설계에 트랜지스터가 정해졌을 때 컬렉터 전류에 가하는 β의 영향을 제어할 수 있는 유일한 수단은 Rb / Re 즉, 저항의 비를 조정하는 방법뿐이라는 것을 (식 3-5-6)으로부터 알 수 있다. 이 저항의 비가 작으면 작을수록, 컬렉터 전류도 작아지므로 컬렉터 전류를 안정시키기 위해 이 저항의 비를 너무 작게 해서는 안 된다. 즉, 이 저항의 비를 작게 한다면 증폭기의 전류 이득이 작아지는 부정적인 결과를 만들게 된다. 만일 이 저항의 비가 1이 된다면 동작점에서의 안정도는 매우 나빠지므로 일반적으로 동작점에서의 안정도를 보장하기 위해 이 저항의 비가 10보다 작지 않도록 한다.

Power Amplifier를 설계하는데 있어서 중요하게 생각되는 P1dB output Power 이외에 입력전원과 각 Stage의 Gain에 대한 내용이며, Current는 각 Stage에 사용

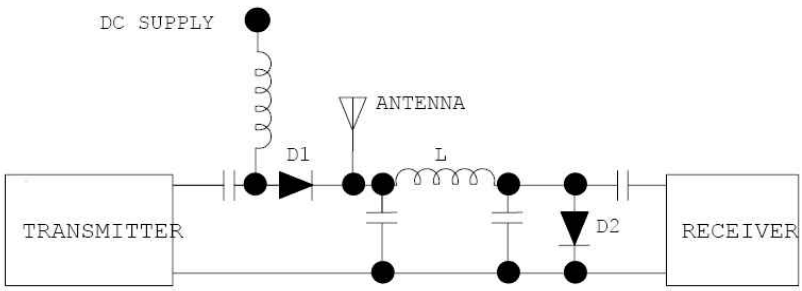
된 소자의 Maximum전류를 표시하였다.

<표 3-5-3-2> 고출력 증폭부에 사용된 증폭기 특성

	HMC482ST	SD1127	MRF314	MRF316
Gain	13	13	10	10
P1dB Output Power(dBm)	+18	+36	+44.8	+49
전원(Vdc)	+12	+12	+24	+24
Current(A)	0.5≥	1≥	1.5≥	4.5≥

(다) Tx/ Rx 선택회로 설계

<그림 3-5-3-4>는 Microsemi사의 UM9400를 이용하여 송/수신 스위치를 설계한 회로도이며, 100mA의 적은 바이어스로 동작된다. 10~500MHz ±20% 대역폭에서 On시 송신부와 안테나간 0.2dB이하의 삽입손실(Insertion Loss)와 송신기와 수신기간의 30dB의 절연(Isolation) 특징이 있으며, Off시 안테나와 수신기 간에 0.3dB이하의 삽입손실이 발생하게 된다.

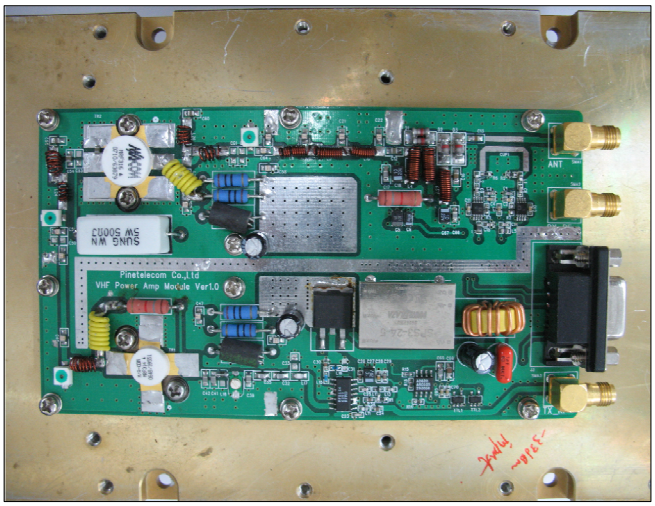


<그림 3-5-3-4> 송/수신 스위치 구성도

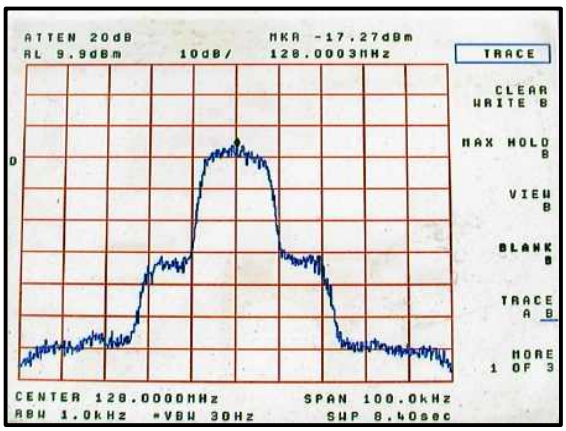
(라) 제작 결과

초단파데이터송수신기(VDR)은 D8PSK 변복조 방식을 사용한다. D8PSK 변복조 방식은 선형성을 중요시한다. 그래서 제작하려는 고출력 증폭기는 이러한 조건을 반영하였다. 선형성과 효율을 고려하여 A급과 B급을 혼용한 AB급을 사용하였으며, 각 단에 선정한 증폭기는 Po1dB에서 4~5dB이하의 점을 사용하였다. 또한 증폭기에서 발생되는 스퓨리어스 성분을 제거하기위하여 각 증폭기 출력부에

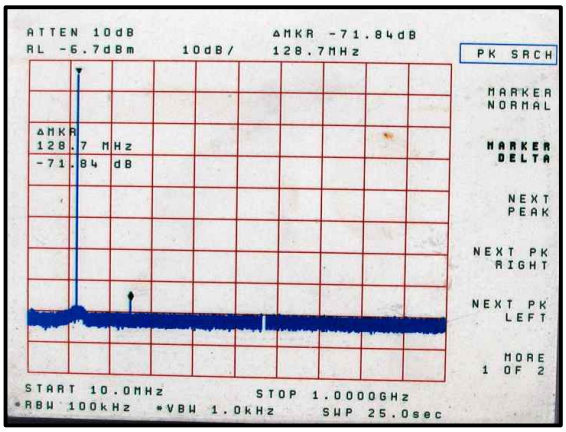
3-Pole 저역통과 필터를 삽입하여 규격에 만족할 수 있도록 설계하였다. UM9400 다이오드스위치는 스위칭 속도가 빠르고, 평균전력100W에서도 사용가능하며, 송/수신간의 30dB Isolation(절연)을 제공하기 때문에 송신모드시 수신부의 저 잡음 증폭기(LNA) 및 기타 부품에 손상을 주지 않는 기능을 포함한다. <그림 3-5-3-5>에 개발된 지상용 고출력 증폭기 내부 형상을 보였으며, 개발품에 대한 시험 결과로서 25W 출력의 D8PSK 변복조 방식에 대한 스펙트럼과 고출력 증폭기의 스퓨리어스 방사 특성을 <그림 3-5-3-6>과 <그림 3-5-3-7>에 각각 보였다.



<그림 3-5-3-5> 지상용 고출력 증폭기 내부 형상



<그림 3-5-3-6> 25Watt 출력 스펙트럼 (D8PSK 변조)



<그림 3-5-3-7> 고출력 증폭기의 스퓨리어스 방사 특성 (송신)

(2) 지상용 주파수 상하향 변환기 (Ground Up-Down Converter)

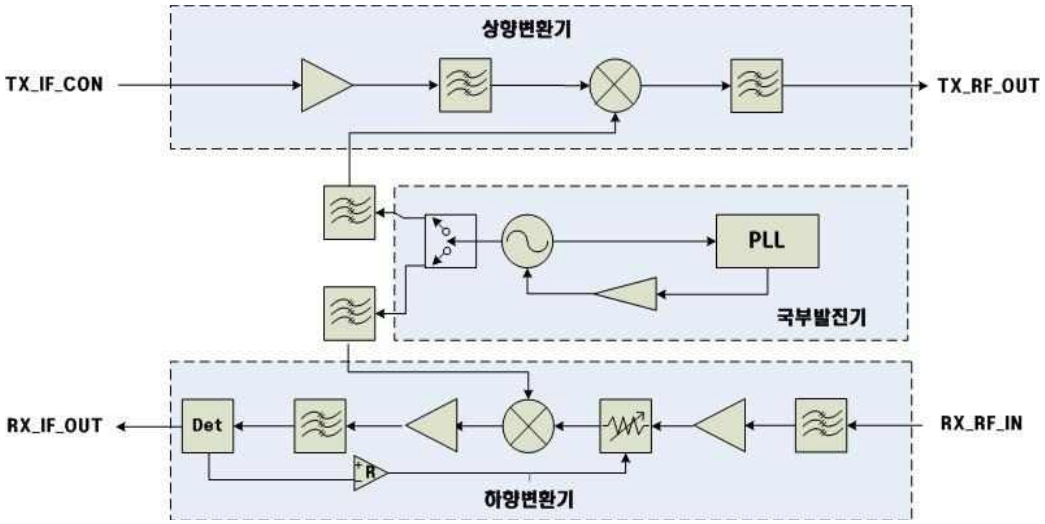
지상용 상 하향 주파수 변환기는 항공용 D8PSK 변복조기에 45MHz의 IF 신호를 제공하며, 지상용 고출력 증폭기에 117.395~137MHz RF 신호를 제공한다. 또한 수신신호세기(RSSI)를 감지하기 위한 회로를 내장하고 있다. 지상용 상 하향 주파수 변환기의 설계 사양은 <표 3-5-3-3>과 같다.

<표 3-5-3-3> 지상용 상하향 주파수 변환기(GUDC) 설계 사양

	항 목	설 계 사 양
상향 변환기	출력 주파수 (RF)	117.975~137MHz, -10dBm
	입력 주파수 (IF)	70MHz, -15dBm
	이득 안정도 (Gain Flatness)	±1dB max
	주파수 안정도 (Frequency Stability)	1ppm max
	이득	10dB
하향 변환기	입력 주파수 (RF)	117.975~137MHz
	출력 주파수 (IF)	70MHz
	동작범위 (Dynamic Range)	-99 ~ -8dBm
	주파수 안정도 (Frequency Stability)	1ppm max
	잡음지수 (NF)	10dB max
	신호대 잡음비 (Es/No)	21.77dB max

(가) 지상용 상, 하향 주파수변환기 시스템 구성

지상용 상, 하향 주파수변환기(Ground Up-Down Converter)의 구성은 <그림 5-3-8>과 같다. 상향 변환기는 70MHz의 중간주파수를 117.975~137MHz로 변환하는 역할을 하고, 하향 변환기는 117.975~137MHz의 RF신호를 70MHz의 중간주파수로 변환하는 역할을 한다.



<그림 3-5-3-8> 지상용 상, 하향 주파수변환기(GUDC) 블록도

상, 하향 주파수변환기는 반이중 통신 방식을 사용한다. 한 개의 국부 발진 주파수를 SPDT 스위치를 사용하여 상향 및 하향변환기 혼합부에 공급하며, 하향변환기에는 자동이득 제어부가 내장되어 수신부의 동작영역을 충분히 확보하였다. 하향 주파수 변환기의 저 잡음 증폭기는 잡음지수(Noise Figure)가 작고, 자동이득 제어에 의해 충분한 동작영역(Dynamic Range)이 확보될 수 있도록 이득 20dB, 잡음지수 2dB, IIP3 +10dBm인 부품을 선정하였다. 사용 주파수 대역을 첫 번째 중간 주파수로 하향 변환을 하기위해 High Side Injection 방식의 믹서를 사용하였다. 중간 주파수는 70MHz로 선정하여, 상, 하향 변환기가 공유 할 수 있도록 하였고, 또한 상향 변환 시 누설 된 국부발진 주파수 성분을 안테나 출력 전에 충분히 제거되도록 70MHz의 주파수 간격을 두었다. 혼합기를 통과한 70MHz의 중간 주파수는 억압특성이 좋은 MCF(Monolithic Crystal Filter)을 사용하여 스퓨리어스 성분을 제거하고, 원하는 신호만 추출하였다. 70MHz의 중간주파수는 D8PSK 복조기로 입력된다. 상향 변환기는 D8PSK 변조기로부터 70MHz의 중간 주파수를 입력받는다. 입력 된 중간 주파수는 송신 국부 발진주파수와 혼합되어 상향 변환된다. 상향 변환 시 발생되는 국부 발진주파수 성분, 중간 주파수 성분들을 제거하기 위해 대역 통과 필터를 사용하였다. 상향 변환기는 선형성을 유지하기 위해 각 블록의 증폭기는 PO1dB 보다 5dB 낮게 사용하였다.

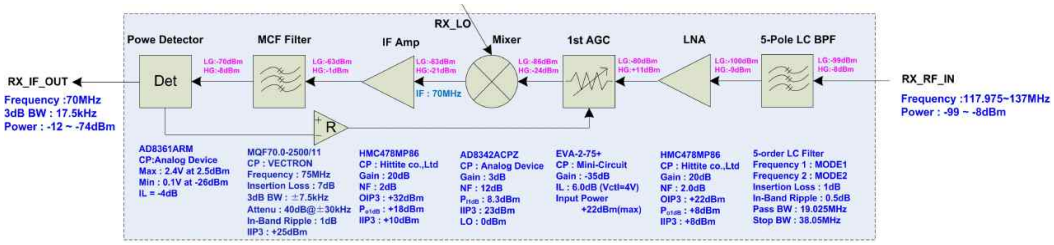
(나) 하향 주파수 변환기 설계

D8PSK 복조기는 <표 3-5-3-4>에서 보듯이 수신기의 잡음지수를 10dB라 가정 할 때 Es/No=21.77dB가 확보되면 수신기의 요구사항인 -98dBm@10-3BER을 만족한다. 하향 주파수 변환기는 D8PSK 복조기의 요구사항에 맞도록 잡음지수가 10dB 미만, Es/No가 21.77dB 이상으로 설계를 하는데 중점을 두었다. 초단 대역통과 필터는 대역외의 간섭조건과 FM 방송 주파수에 의한 혼변조를 방지하기 위해 사용하였다.

<표 3-5-3-4> GD8PSKMD의 복조기 특성

항목	값
Eb/No@10-6BER	13dB
Es/No (without Loss)	17.77dB
Imp.Loss + RC Loss	4dB
Es/No(with Loss)=SNR	21.77dB
KTo	-174dBm/Hz
Effective Noise Figure	10dB
Baud Rate (R)	40.21dBHz
No*R	-28.79dBm
Required Receiver Input	-103dBm

하향 주파수 변환기는 -99~ -8dBm의 동작 영역을 만족해야 한다. 실제로 VDR(Aviation VHF Data Radio)의 동작영역은 -98~-7dBm이다. APA(Aviation High Power Amplifier)의 SPDT 스위치에서 1dB의 손실이 발생하기 때문에 하향 주파수 변환기는 동작영역이 VDR 보다 1dB 낮다. 혼합기의 잡음지수=12dB 이므로, 저 잡음 증폭기는 이득이 20dB인 증폭기를 사용해야만 최대한의 잡음지수를 확보할 수 있다. 반면 저 잡음 증폭기의 이득이 증가하면, VDR이 요구하는 동작영역(Dynamic Range)을 첫 번째 혼합기에서 확보하기 어렵다. 그래서 아날로그 감쇄기를 사용한 자동이득 제어회로를 추가하여 큰 신호가 입력될 때 혼합기가 포화되는 것을 방지하였다.



<그림 3-5-3-9> 하향 주파수 변환기 상세구성도

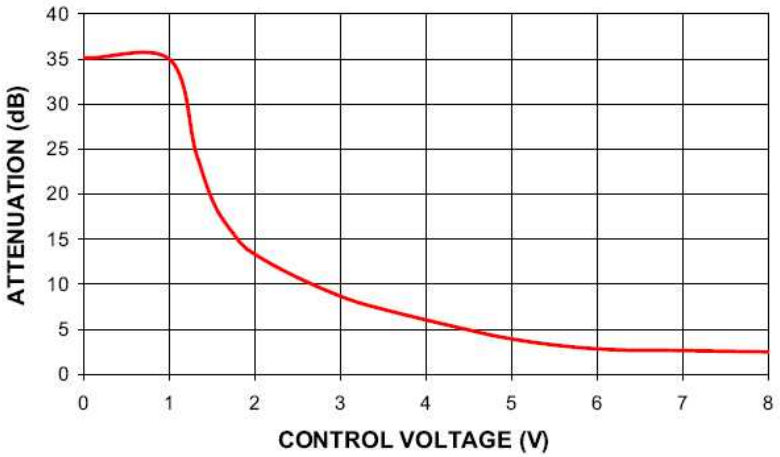
VDL M2 송수신기의 요구조건 중 혼변조에 관련된 항목이 포함되어 있다. 대역외의 신호는 수신기 초단 대역통과 필터에서 충분히 제거가 되나 대역에 포함된 신호에 의한 혼변조는 수신감도에 큰 영향을 미친다. MAPS와 MOPS에서는 대역에 포함된 혼변조에 대하여 <표 3-5-3-5>와 같은 조건을 제시하고 있다.

<표 3-5-3-5> 하향변환기의 혼변조 요구조건

수신 신호	신호크기 : -75dBm, 변조방식 : D8PSK
잡음 신호1	신호크기 : -32dBm, 변조방식 : 무변조
	주파수 : 시험채널 ± 1MHz
잡음 신호2	신호크기 : -32dBm, 변조방식 : D8PSK
	주파수 : 시험채널 ± 2MHz

혼변조에 영향을 주는 요소는 초단 저 잡음 증폭기의 선형성, 혼합기의 절연특성, 중간 주파수 선정, 중간 주파수 필터의 억압특성, 혼합기의 비선형성을 주된 원인으로 볼 수 있다. 혼변조는 선정한 부품의 비선형 테이블을 ADS 툴을 사용하여 분석 하였다. 저 잡음 증폭기의 IIP3가 -20dBm 일 때 45MHz 중간 주파수에 대해 혼변조를 일으키는 45MHz±1MHz, 45MHz±2MHz의 주파수 성분이 생성되었고, 저 잡음 증폭기의 IIP3가 +10dBm 일 때 45MHz의 중간주파수에 대해 혼변조를 일으키는 성분이 발생되지 않음을 알 수 있다. 여러 시험을 통해 확인한 결과 혼변조 성분에 의한 수신감도 저하를 막기 위해서는 저 잡음 증폭기의 IIP3가 +10dBm보다 큰 것을 사용하는 것이 바람직하다. AUDC에서는 이러한 특성을 고려하여, 저 잡음 증폭기의 IIP3=+10dBm이상인 Hittite사의 HMC478MP86을 사용하였다.

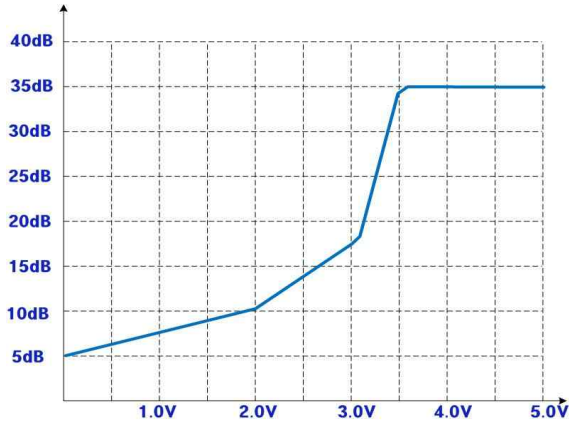
저잡음 증폭기를 통과한 수신신호는 자동이득제어(AGC)회로의 일부분인 가변 감쇄기에 연결된다. 가변 감쇄기의 감쇄 특성은 <그림 3-5-3-10>과 같다.



<그림 3-5-3-10> 가변 감쇄기의 감쇄특성

가변 감쇄기의 제어 전압 범위를 0~4.5V까지 사용할 경우 삽입손실이 5dB이다. 가변 감쇄기를 통과한 신호는 혼합기에 연결된다. 혼합기의 RF 입력 범위는 LF~500MHz이며 3.7dB의 변환 이득, 12.2dB 잡음지수, 22.7dBm의 IIP3, 8.3dBm의 PI1dB을 갖는다. High Side Injection 방식을 사용하며 사용하는 국부 발진 주파수는 187.975~207MHz 이다. 국부 발진 주파수와 수신신호를 혼합하여 70MHz의 중간 주파수를 생성한다. 혼합기에서 출력된 중간 주파수는 1단의 중간 주파수 증폭기에 의해 증폭된다. 증폭기에서 출력된 중간 주파수는 대역외 억압 특성이 좋은 MCF 필터에 인가된다. MCF 필터는 25KHz의 채널 대역폭을 가지며, 70MHz±30KHz에서 40dB 이상의 억압특성을 갖는다. MCF 필터는 인접채널 간섭 조건하에서 정상동작 여부를 결정하는 중요한 필터이다. MCF필터를 통과한 중간 주파수는 D8PSK 복조기와 수신신호세기 검출부에 연결된다. 수신신호세기 검출부는 Tru-Power Detector와 변환기(Inverter), AD 변환기로 구성된다. AD 변환기는 MAC에서 D8PSK복조기와 하향변환기에서 사용한 감쇄율을 계산하여 실제 수신신호세기를 계산하기위해 변환기의 출력을 디지털화하여 전송하는데 목적이 있다. 수신신호 검출부에 사용된 AD8361ARM 디바이스는 5V 전원을 사용하는 경우 0.02V(-21dBm)~0.6V(+8.6dBm)까지 약 30dB범위의 신호를 검출 할 수 있다. 역변환기는 검출된 신호를 사용하여 가변 감쇄기를 사용한 자동이득 제어 회로를 구성하기 위해 사용하였다. 신호세기가 클 경우 감쇄기의 감쇄율을 높이고, 신호세기가

약할 경우 감쇄기의 감쇄율을 최소화 한다. D8PSK변복조기를 통해 MAC으로 전송하는 수신신호세기의 값은 <그림 3-5-3-11>과 같다.



<그림 3-5-3-11> 전압 검출에 따른 감쇄율(α_{RF})

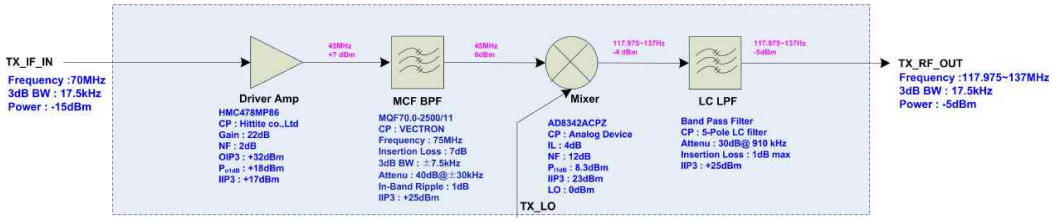
VDR의 수신신호세기는 (식 3-5-7)과 같이 계산된다.

$$RSSI_{VDR} = \alpha_{RF} + RSSI_{D8PSK} \qquad (3\text{-}5\text{-}7)$$

예를 들어 상하향변환기에서 2V의 전압(α_{RF})이 검출되고, D8PSK 변복조기에서 수신신호세기($RSSI_{D8PSK}$)가 -30dBm으로 검출되면, VDR에서의 수신 신호세기는 -20dBm이 된다.

(다) 상향 주파수 변환기 설계

VDR의 상향 주파수 변환기는 +0dBm 출력, 31.5kbps±0.005%, ±5ppm의 주파수 안정도를 가져야하며, EVM=6%이하이다. 또한 MOPS와 MAPS에 명시된 스퓨리어스 방사기준을 만족해야하며, 반이중 통신방식을 사용하기 때문에 송신출력 상승 및 하강시간 기준을 만족해야한다. 규격을 만족하기 위한 상향 주파수 변환기 상세 구성도는 <그림 3-5-3-12>와 같다.



<그림 3-5-3-12> 상향 주파수 변환기 상세구성도

D8PSK 변조기로부터 70MHz, -15dBm의 크기를 갖는 신호를 입력 받는다. 입력 된 신호는 초단 중간 주파수 증폭기에 의해 출력을 증가 시킨 뒤, 억압 특성이 좋은 대역 통과 필터를 사용해 발생된 스퓨리어스와 인접채널의 전력을 최소화 시킨다. 혼합기에 인가되기 전에 스퓨리어스를 제거함으로 통과 후 발생되는 스퓨리어스를 최소화 시킬 수 있다. VDR의 상향 변환기는 D8PSK 변조방식을 사용하기 때문에 선형성이 중요한 요소이다. 그렇기 때문에 각 증폭기는 P1dB에서 4~5dB 이하의 선형구간을 사용해야한다. 상향 변환기의 전체 이득은 (식 3-5-8)과 같다.

$$G(total) = G1 + G2 + G3 + ... = 10dB \qquad (3\text{-}5\text{-}8)$$

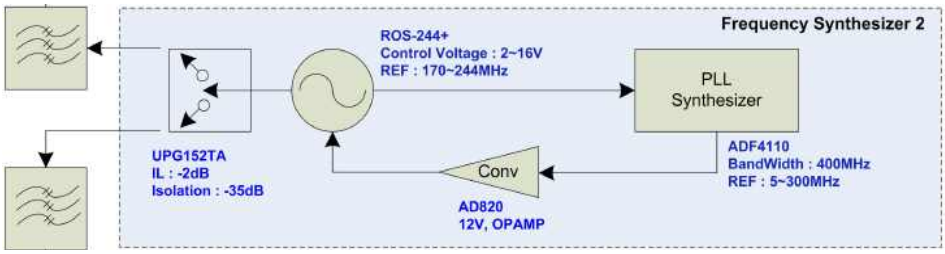
채널 폭이 25kHz, 온도 20℃, 입력 신호 크기를 -20dBm이라 할 때, 출력전력은 +0dBm이다. 송신기 전체 잡음지수는 (식 3-5-9)와 같다.

$$NF = NF1 + \frac{NF2 - 1}{G1} + \frac{NF3 - 1}{G1 \times G2} + ... = 3.223dB \qquad (3\text{-}5\text{-}9)$$

스퓨리어스 방사 기준을 만족하기 위해서는 한 번의 상향 변환이 타당하다. 중간 주파수는 고출력 증폭기 뒷단의 대역통과필터에서 누설된 국부발진기의 누설성분을 제거할 수 있는 대역을 선정해야 한다. 반 이중 통신방식에서 상향 주파수 변환기와 하향 주파수 변환기가 동일한 국부 발진기를 사용하는 것이 유리하기 때문에 중간 주파수를 70MHz로 설정하였다.

(라) 주파수 합성부 설계

주파수 합성부는 상향 변환기와 하향변환기의 국부 발진주파수를 공급한다. 주파수 합성부는 상향 변환기와 하향변환에 사용되는 187.975MHz~207MHz를 합성한다. VDR이 동일한 채널을 사용하여 송수신시, 주파수합성부는 종단에 위치한 SPDT 스위치를 사용하여 상하향 변환기의 혼합기에 주파수를 공급한다.

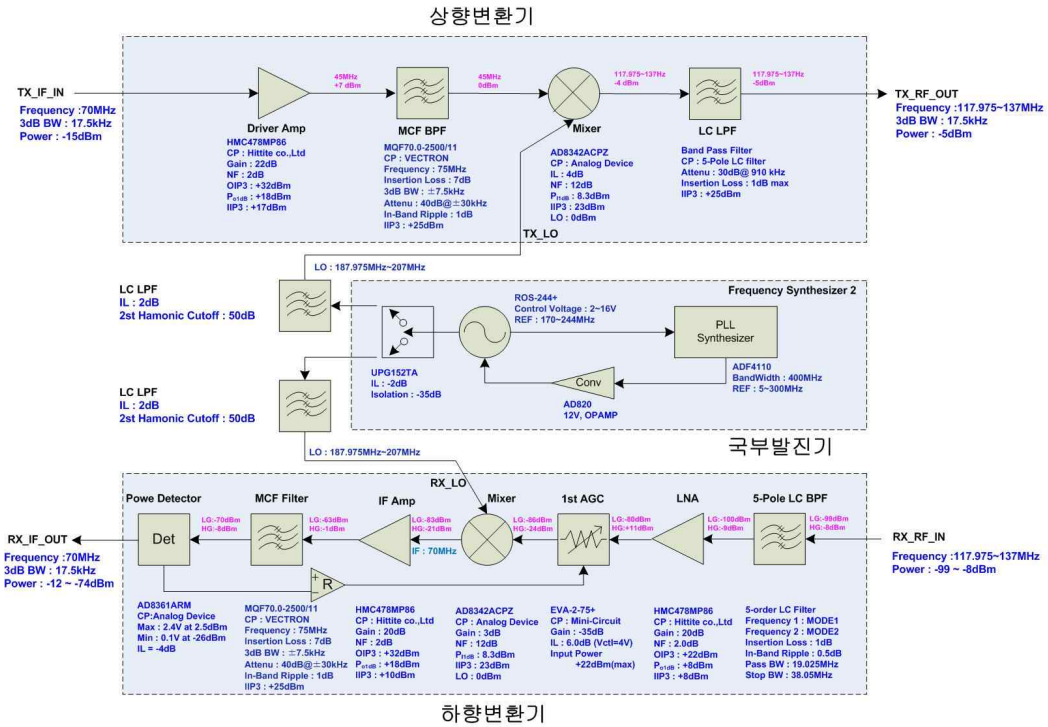


<그림 3-5-3-13> 주파수 합성부 상세구성도

전압제어발진기(VCO)는 Mini-Circuit사의 ROS-244+을 사용하였으며, 위상잡음(Phase Noise)은 -97dBc@1kHz offset의 특성을 가지며, 제어 전압은 2~16V의 범위를 가지며, 6MHz@1V의 선택도를 갖는다.

(마) 설계 결과

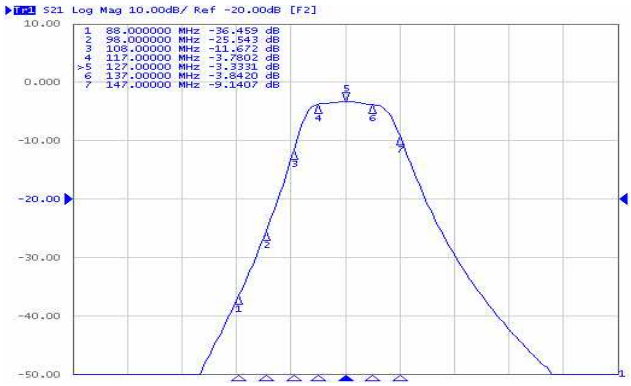
설계한 상/하향 주파수 변환기는 MOPS와 MAPS의 기준에 만족하는 VDL Mode2용 상, 하향 주파수 변환기를 설계하고, 성능을 분석하였다. 또한 요구조건인 인접 채널 분리, 수신감도, 혼변조, 수신기의 동작영역, 송신기의 선형성, 불요 방사 전력을 선형 및 비선형 시뮬레이션을 통해 분석 하고, 제작을 위한 방향을 제시하였다. <그림 3-5-3-14>는 구성된 상/하향 변환기의 전체 구성도이다.



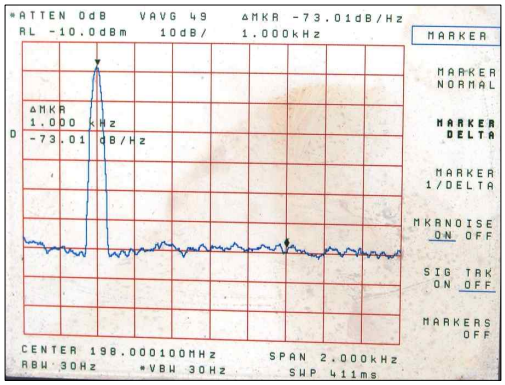
<그림 3-5-3-14> 지상용 상,하향 주파수 변환기 상세구성도

하향 변환기는 잡음지수가 10dB 미만, Es/No가 21.77dB 이상으로 설계를 하는데 중점을 두었다. 설계한 결과 잡음지수 4.5dB, Es/No 27.52dB이다. -98dBm@10-3BER을 만족하기에 충분한 값이다. 혼변조 성분에 의한 수신감도를 저해하는 요소는 저 잡음 증폭기의 IIP3와 혼합기의 RF to LO, LO to IF, RF to IF 성분에 의해 발생함을 확인 할 수 있었다. 혼변조에 의한 영향을 최소화 하기위해서는 높은 IIP3를 갖는 저 잡음 증폭기를 사용하고, 혼합기의 절연 특성이 30dB 이상 되는 부품을 선정하는 것이 바람직하다.

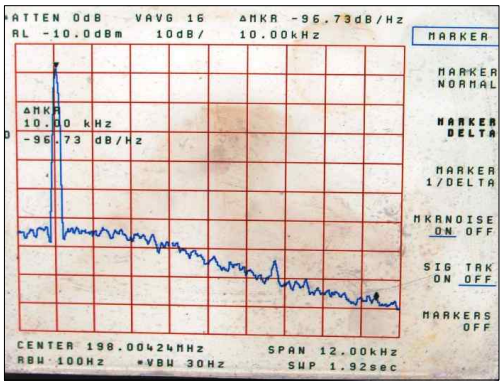
상향 변환기는 스퓨리어스 조건과 왜곡 특성을 최소화 하기위해 직접 변환방식이 유리하고, 인접채널 누설 전력을 최소화하기위해 중간 주파수에서 혼합기에 인가하기 전에 누설 전력 억압특성이 좋은 MCF 필터를 사용하는 제거해야한다. 증폭기는 선정 시 PO1dB 보다 4~5dB 정도 낮은 점에서 사용하는 것이 D8PSK 신호의 왜곡을 최소화 할 수 있다. 설계된 하향 변환기 및 상향 변환기의 특성 시험 결과는 <그림 3-5-3-15>에서 <그림 3-5-3-19>와 같다.



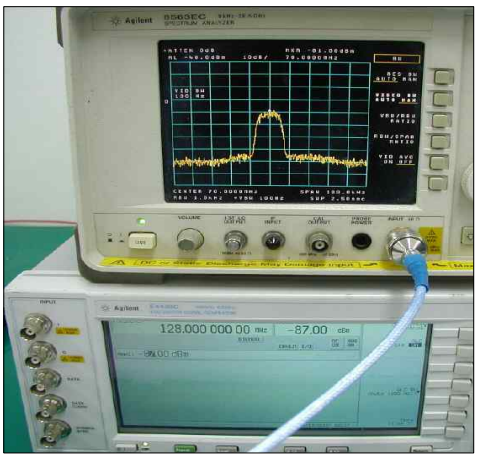
<그림 3-5-3-15> 하향변환기 대역통과필터 특성



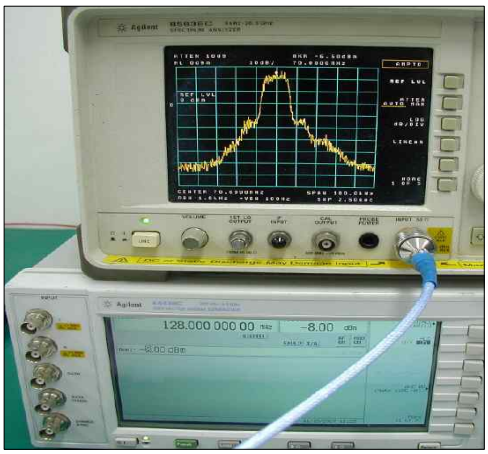
<그림 3-5-3-16> 위상잡음
-73dBc@1kHz offset



<그림 3-5-3-17> 위상잡음
-96.7dBc@10kHz offset



<그림 3-5-3-18> 하향변환기
동작영역 (-87dBm 입력시 70MHz IF
출력 스펙트럼)



<그림 3-5-3-19> 하향변환기
동작영역 (-8dBm 입력시 70MHz IF
출력 스펙트럼)

하향변환기는 -8dBm에서 -98dBm까지 동작 영역이 스펙트럼 상으로 확인되었다. 위상잡음은 -73dBc@1kHz Offset, -96.7dBc@10kHz offset의 특성을 가진다. 제작된 상하향 변환기는 <그림 3-5-3-20>과 <그림 3-5-3-21>과 같다.



<그림 3-5-3-20> 상하향변환기 사진



<그림 3-5-3-21> 상하향변화기 내부사진

(3) 지상용 D8PSK 변복조기 (Ground D8PSK Modulator/Demodulator)

지상용 D8PSK 변복조기의 설계 사양은 <표 3-5-3-6>과 <표 3-5-3-7>과 같다.

<표 3-5-3-6> D8PSK 변조기 설계 사양

항 목	설계사양	비 고
IF Frequency	70.000 MHz	Fixed
IF Output Power	-15 dBm	Channel Power
Channel Bandwidth	25 kHz	(1+α)×10,500 = 16.8 kHz + β
Frequency Tolerance	±2 PPM	TCXO : 18.480 MHz, ±1.5 PPM
Modulation Type	D8PSK	-
Channel Filtering	Raised Cosine	-
Excess Bandwidth	α = 0.6	-
Bit Rate	31,500 Bits/sec	10,500 Symbols/sec ±0.002%
Symbol Constellation Error	Max. 6 %	EVM
Error Control Code (FEC)	RS Code	RS(255,249), t = 3bytes

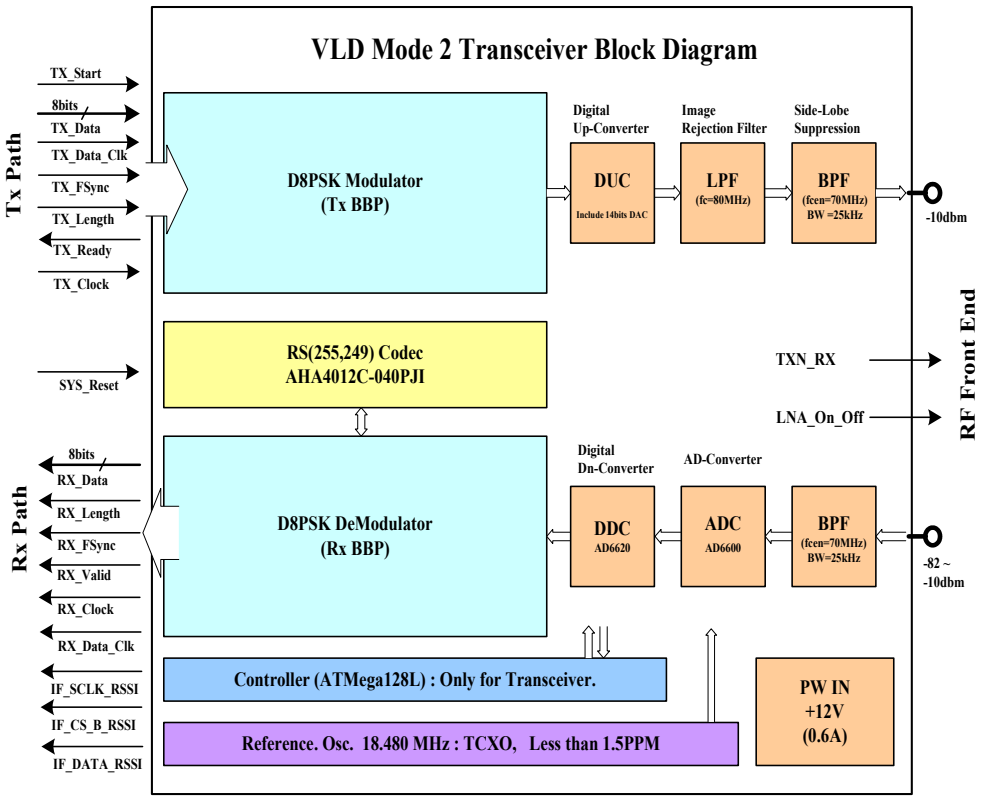
<표 3-5-3-7> D8PSK 복조기 설계 사양

항 목	설계사양	비 고
IF Frequency	70.000 MHz	Fixed
IF Input Power Range	-74~-12 dBm	50 dB
Channel Bandwidth	25 kHz	(1+α)×10,500 = 16.8 kHz + β
Channel Filtering	Low Pass Filter	fc = (1+α)/2Ts = 8.4 kHz + β
Frequency Capture Range	± 960 Hz	Doppler + Tx Freq. Error
Bit Rate	31,500 Bits/sec	10,500 Symbols/sec ±0.002%
Sensitivity for 0.001 BER	Min. -98 dBm	
Error Control Code (FEC)	RS Code	RS(255,249), t = 3bytes

변조기의 IF 주파수는 70 MHz이고, 변조 형식은 D8PSK 방식이며, 채널 필터로 Raised Cosine 필터(alpha=0.6)를 사용한다. 변조기 설계 시 송신 스펙트럼 특성에 중점을 둔다. 복조기의 IF 주파수는 70 MHz이고, 채널 필터로는 일반 저역통과 필터를 사용한다. 복조기 설계 시 수신감도는 -98 dBm을 만족하도록 하고, 도플러 효과 및 송신 반송파 주파수의 에러를 포함하여 ±960 Hz까지의 주파수 차이(frequency offset)가 존재하여도 통신이 가능하도록 설계한다.

(가) 시스템 구성

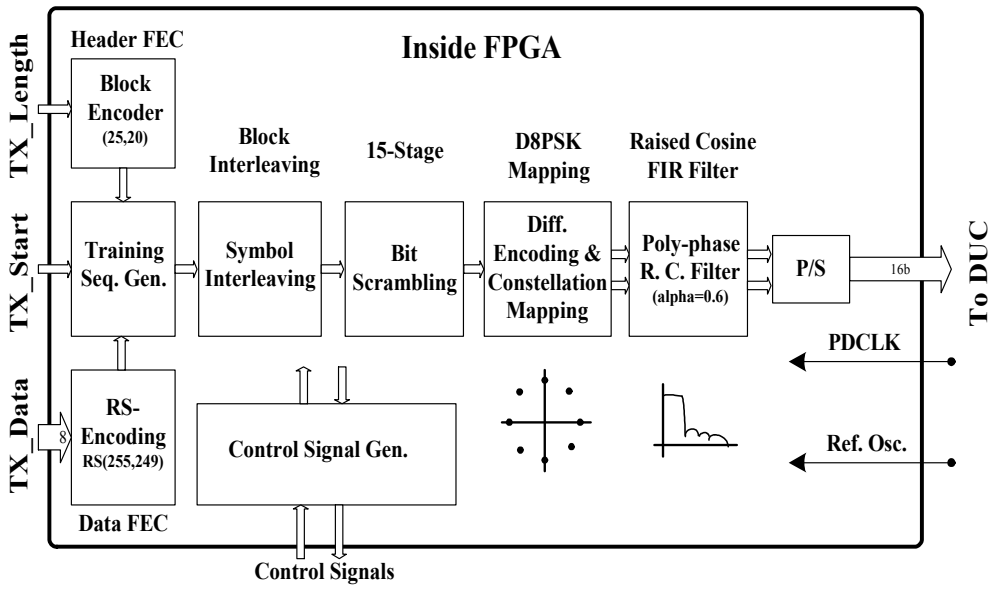
지상용 변복조기 시스템(AD8PSKMD)은 하나의 보드 형태로 송신과 수신이 가능하도록 설계한다. 송신측은 D8PSK 변조 방식에 맞게 메시지 비트를 부호화하고 디지털 필터링 과정을 통해 송신 대역을 제한하며, 디지털 업 컨버터(DUC)를 거쳐 최종 중간 주파수 신호(IF Signals)를 생성한다. 수신측은 수신된 중간 주파수 신호를 AD 변환(Under-Sampling or IF sampling)하고 디지털 다운 컨버터(DDC)를 통해 기저 대역 신호로 변환된 후 최종 베이스 밴드 프로세서(BBP)를 통해 송신한 원래의 메시지를 복원하는 기능을 한다.



<그림 3-5-3-22> D8PSK 변복조기 구성도

(나) 변조기 설계

변조기의 내부 구성 및 주요 기능 블록은 <그림 3-5-3-23>과 같이 복잡한 형태로 되어 있으며 각각의 블록들에 대한 기능과 설계 방법을 데이터의 흐름순서로 기술한다.



<그림 3-5-3-23> 변조기 베이스 밴드 프로세서 내부 구성도

① Training Sequence Generating

VDL 모드-2 송수신기는 버스트 모드로 동작하도록 되어 있다. 버스트 모드 통신은 반드시 전송 프레임의 시작점을 수신기가 알 수 있도록 훈련신호(training sequence) 또는 싱크 워드(synch word)를 데이터 스트림에 포함 시켜야 한다. 훈련신호의 구성은 송신 출력 신호의 안정화와 수신기의 자동 이득 조절 장치(AGC)의 정상적인 동작을 위한 영 심벌(3심벌), 수신기의 동기 획득과 프레임 시작점을 알려주는 유닉 워드(16심벌), 전송되는 프레임의 길이를 알려주는 길이필드(20비트) 및 길이필드의 오류를 수정하는 FEC ECC 비트(5비트) 등 총 82비트로 구성되어 있다. 다음은 훈련신호의 각 세그먼트를 요약한 것이다.

Transmitter power stabilization and Receiver AGC Settling. → [000 000 000]

Synchronization and ambiguity resolution. [16symbols ; 48bits]

→ Unique_Word = [000 010 011 110 000 001 101 110 001 100 011 111 101 111 100 010]

Reserved symbol. = [000]

Transmission Length. [17bits] → ≤ 131,071 bits

Header FEC Parity Symbol. [5bits] → Linear Block Code (25,20)

② Length Field Block Encoding

송신기는 수신기에서 RS FEC의 블록 길이를 알 수 있도록 길이 정보를 송신하는데 전송과정에서 발생하는 오류를 정정하기위하여 부호화 한다. 오류정정능력은 1 비트이다. '000' 비트를 포함한 길이비트(20비트)는 Linear Block Code (25, 20)의 부호화기를 통해 25비트로 부호화된다. 본 시스템에 적용된 부호화기의 처리 수식은 (식 3-5-10)과 같다.

$$[P1,...,P5] = [R1,R2,R3,TL1,...,TL17]\mathbb{P}^{\mathbb{T}} \qquad (3\text{-}5\text{-}10)$$

where :

P is the parity Bits. (P1 shall be transmitted first.)

R is the reserved symbol.

TL is the transmission length Bits.

(*) T is the matrix transpose function.

$$\mathbb{P} = \begin{pmatrix} 00000000111111111111 \\ 00111111000011111111 \\ 11000111001100001111 \\ 11011011010100110011 \\ 01101001111001010101 \end{pmatrix} : \mathbb{P} \text{ is Parity Matrix}$$

$\mathbb{G} = [\mathbb{I}_k \mid \mathbb{P}^{\mathbb{T}}]$: $\mathbb{G}$ is Generator Matrix

$c = m\,\mathbb{G} = [m_1 m_2 \cdots m_k | p_1 p_2 \cdots p_{n-k}]$: c is Code Word (25비트)

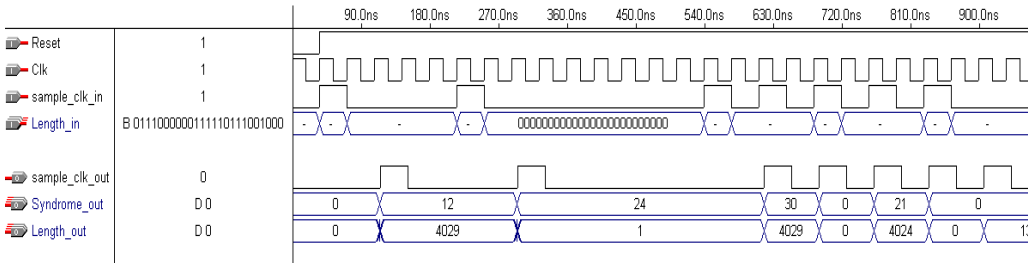
$\mathbb{H} = [\mathbb{P} \mid \mathbb{I}_{n-k}]$: $\mathbb{H}$ is Parity Check Matrix

변조기에 사용되는 블록 코드의 기능 검증과 디코딩 과정에서 필요한 신드롬 ($\mathbb{S} = r\mathbb{H}$) 테이블을 생성하기 위해 MATLAB 스크립트를 개발하여 사용하였으며, 이를 통해 계산된 신드롬 테이블은 <표 3-5-3-8>과 같다.

<표 3-5-3-8> 신드롬 디코딩 테이블

Syndrome ($\mathbb{S} = r\mathbb{H}^{\mathbb{T}}$), [S1..S5]	Error Pattern (e) ; Correction Vector [LR0..LR24]	
0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	-
1	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	24
2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	23
3	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0	1/22
4	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0	22
5	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	1/23
6	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0
7	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1
8	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	21
9	0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	2
10	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	3
11	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	4
12	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	5
13	1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0/4
14	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	6
15	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	7
16	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	20
17	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	8
18	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1/10
19	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	9
20	0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1/9
21	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	10
22	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	11
23	1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0/8
24	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	12
25	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	13
26	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	14
27	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	15
28	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0	16
29	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0	17
30	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0	18
31	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0	19

<그림 3-5-3-24>는 길이필드의 부호화된 비트에 임의의 위치에 1비트의 에러를 첨가하여 신드롬을 구하고 신드롬 테이블에서 에러 패턴을 더하여 원래의 길이필드를 복호화 하는 시뮬레이션 결과이다.

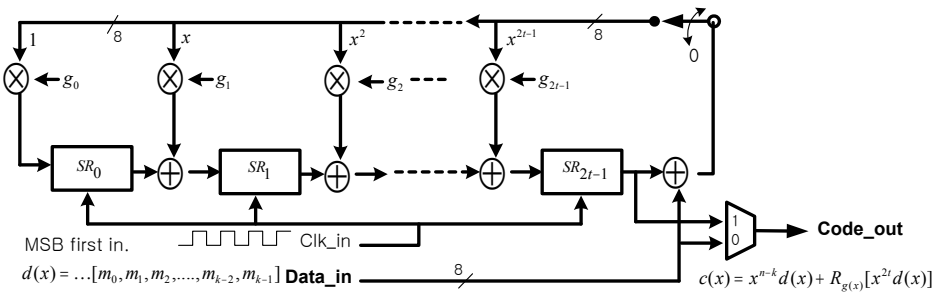


<그림 3-5-3-24> Header FEC 시뮬레이션

③ Data Field Reed-Solomon Encoding

- RS 부호의 개요

RS부호는 비이진(Non-Binary) 블록 채널 부호로써, BCH부호의 확장된 형태이다. 또한, BCH부호와 마찬가지로 Cyclic 채널 부호이다. RS 부호에서는 비트 단위로 오류를 인식/정정하는 것이 아니라, 심벌로써 오류를 인식/정정하므로 비이진 채널 부호라고 하며, BCH 부호는 이진 부호이므로 오류의 위치만 알면 바로 오류를 정정할 수 있는 것에 반해, RS부호는 오류의 크기까지 연산해야 하므로 좀 더 복잡하다. RS부호화에는 생성 다항식(Generator Polynomial)이 사용된다. 생성 다항식을 이용하여 구성한 나눗셈 회로에 추가적인 회로를 구성한 <그림 3-5-3-25>는 RS 부호기의 구조를 나타낸다.



<그림 3-5-3-25> RS(n, k) Encoder 구조

위의 회로에서 Clk_in 신호선을 제외한 모든 버스는 8비트로 되어 있다. k개의 message symbol이 모두 입력된 순간 스위치는 열리게 된다. 다시 말하면, k 클록 후에 스위치는 열리며 레지스터에는 $d(x)$를 $g(x)$로 나눈 나머지 값이 남아 있다. 이것이 “Redundancy”이고 message symbol은 그대로 출력되며 후에 레지스터 내

용이 뒤따름으로서 code word가 생성된다. (레지스터의 초기 값은 모두 '0'이다.)

본 D8PSK 모뎀에서는 FEC로 Reed-Solomon (255,249) 28-ary 코드를 사용한다. 원시다항식(primitive polynomial)과 생성다항식(generator polynomial)은 (식 3-5-11)과 같다.

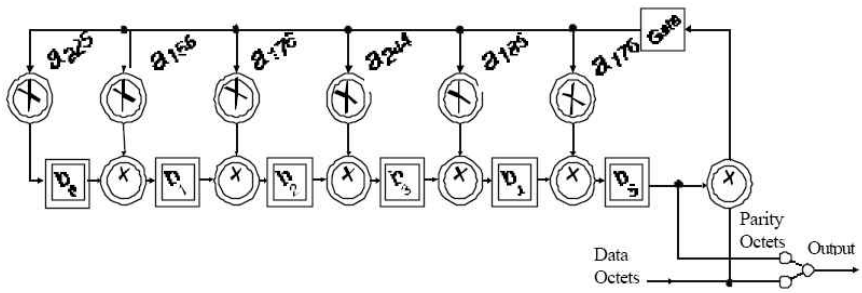
$$p(x) = x^8 + x^7 + x^2 + x + 1 \qquad (3\text{-}5\text{-}11)$$

$$g(x) = \prod_{i=120}^{125} (x - \alpha^i) = x^6 + \alpha^{176}x^5 + \alpha^{186}x^4 + \alpha^{244}x^3 + \alpha^{176}x^2 + \alpha^{156}x^1 + \alpha^{225}$$

<표 3-5-3-9> RS 부호기에 필요한 계수의 이진 표현

$g_0 = \alpha^{225}$ = 00010111	$g_1 = \alpha^{156}$ = 10000010	$g_2 = \alpha^{176}$ = 11011001
$g_3 = \alpha^{244}$ = 00111110	$g_4 = \alpha^{186}$ = 01100011	$g_5 = \alpha^{176}$ = 11011001

다음 그림은 RS 부호기의 구조를 나타내며 동작은 메시지 249 바이트가 입력되는 동한은 게이트가 닫혀 있다가 250 번째부터는 게이트가 열려 레지스터의 내용(6바이트; ECC 비트)이 메시지 바이트 뒤에 추가된다. 이렇게 255 바이트의 부호화된 옥텟은 다음단의 인터리버로 입력되어 인터리빙 된다.



<그림 3-5-3-26> RS(255,249) 부호기의 구조

④ Block Interleaving

전단에서 부호화된 옥텟은 FEC 복호 성능을 향상시키기 위하여 블록 인터리버로 인터리빙 된다. 인터리버의 구조는 행(row)과 열(column) 형태이고, 행 당 255

옥텟(바이트)을 가지며 열(column)의 개수는 다음과 같이 계산된다.

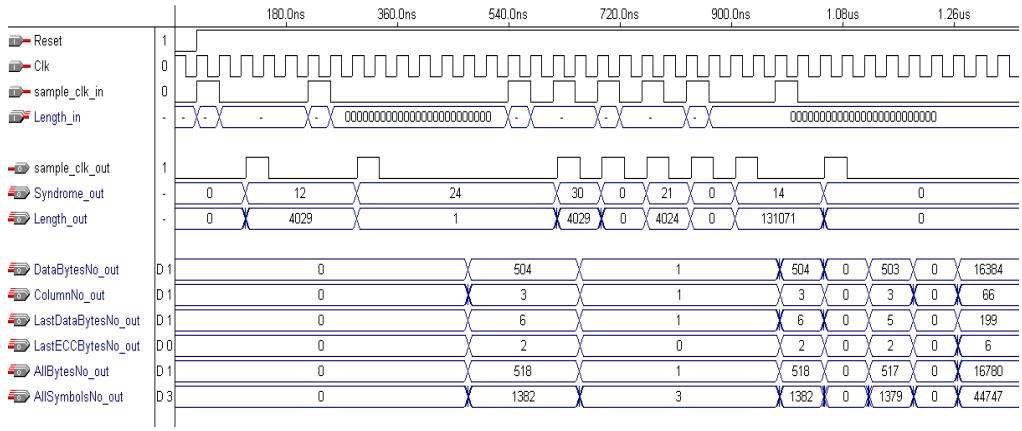
$$c = Ceiling[Transmission\ Length/1992bits]$$

‡ The maximum value of (c) shall be 66.

인터리빙 방법은 249바이트 단위로 부호화된 255 바이트를 가로(좌에서 우로) 방향으로 메모리에 기록(옥텟들의 첫 번째 비트를 8번째 비트 위치에 저장)하여 세로(위에서 아래) 방향으로 읽고, 옥텟들의 MSB(8번째 비트)부터 출력되어 스크램블러에 전달된다. (단, 모든 지워진(erasures) 옥텟들과 채워진 비트(all fill bits)들은 빼고 읽는다.) 길이필드 17-비트로부터 열(column)의 개수를 FPGA에서 구현하는 것은 그리 간단하지 않다. 왜냐하면 나눗셈을 해야 하기 때문이다. 최대열의 개수는 66이므로 7-비트로 표현할 수 있다. 본 설계에서는 열의 개수를 구하는 방법으로 아래 식과 같이 길이필드 17비트를 8로 나누어 길이필드를 바이트 단위로 한 후 249로 나누는 방식을 사용한다.

$$\frac{1}{249} = 2^{-8} + 2^{-14} + 2^{-15} + 2^{-16} + 2^{-19} + 2^{-20} + 2^{-23} + 2^{-26} + 2^{-27} + 2^{-33} + 2^{-35} + 2^{-38}$$

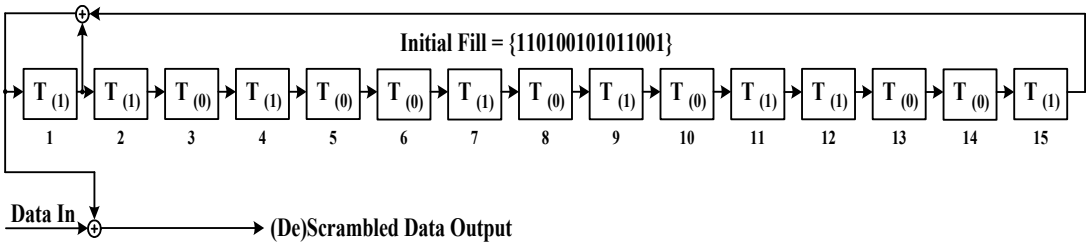
<그림 3-5-3-27>은 길이필드에서 열의 개수 및 총 심벌수 등 인터리버 설계 시 필요한 각종 파라미터를 계산한 결과를 보여준다. 그림에서 길이필드 4,029비트는 3개의 열이 필요하고, 1비트는 1개의 열을, 131,071비트는 66개의 열이 필요하다는 것을 나타낸다.



<그림 3-5-3-27> 길이필드에서 열의 개수 및 총 심벌 개수 계산

⑤ Bit Scrambling

송신 스펙트럼 출력 특성을 좋게 하고 수신기의 심벌 클록 재생성에 도움을 주기위하여 인터리빙된 비트들은 다음과 같은 스크램블러를 통해 스크램블링 된다.



<그림 3-5-3-28> 스크램블러의 구조

특성 다항식은 $G = 1 + X^{1} + X^{15}$이고, Unique Word를 제외한 모든 비트는 스크램블 된다. 스크램블러의 구조는 여기서 초기 값 “110100101011001”이 스크램블러의 레지스터에 채워지고 인터리빙된 비트가 더해짐과 동시에 한 비트 씩 오른쪽으로 이동하는 방식을 갖는다.

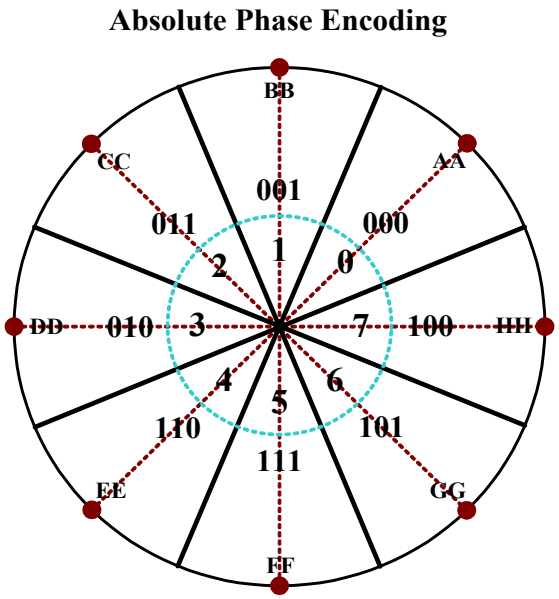
⑥ Differential Encoding

스크램블된 비트들은 3비트씩 그룹 지워져 부호화된다. <그림 3-5-3-29>에서 나중에 들어온 비트가 Zk이고, $\Delta\phi_k$는 현재 위상에서 다음 위상으로 천이하는 증분이다. 입력된 비트가 모두 0인 경우만 위상 변화가 없으며 그 외에는 항상 위상이 천이된다.

X_k	Y_k	Z_k	$\Delta\phi_k$
0	0	0	0 π / 4
0	0	1	1 π / 4
0	1	1	2 π / 4
0	1	0	3 π / 4
1	1	0	4 π / 4
1	1	1	5 π / 4
1	0	1	6 π / 4
1	0	0	7 π / 4

<그림 3-5-3-29> 차동 부호화 표

⑦ Symbol Mapping



<그림 3-5-3-30> Absolute Phase Encoding

디퍼렌셜 인코딩된 심벌은 위 그림과 같이 그 위치가 정해져 있다. 각 위치는 단지 5개의 레벨(0, ±1, ±0.7071)로 표현할 수 있다. 위 그림에서 팔진수는 부호화된 비트들의 자리(또는 증분)를 나타내며, 이진수는 그의 그레이 코드(gray code)이다. 성좌도에서 이웃한 자리와는 단지 1 비트만 다르므로 수신시 에러는 대부분 이웃한 자리에서 발생하기 때문에 에러발생시 하나의 심벌(3비트)에서 하나의 비트만

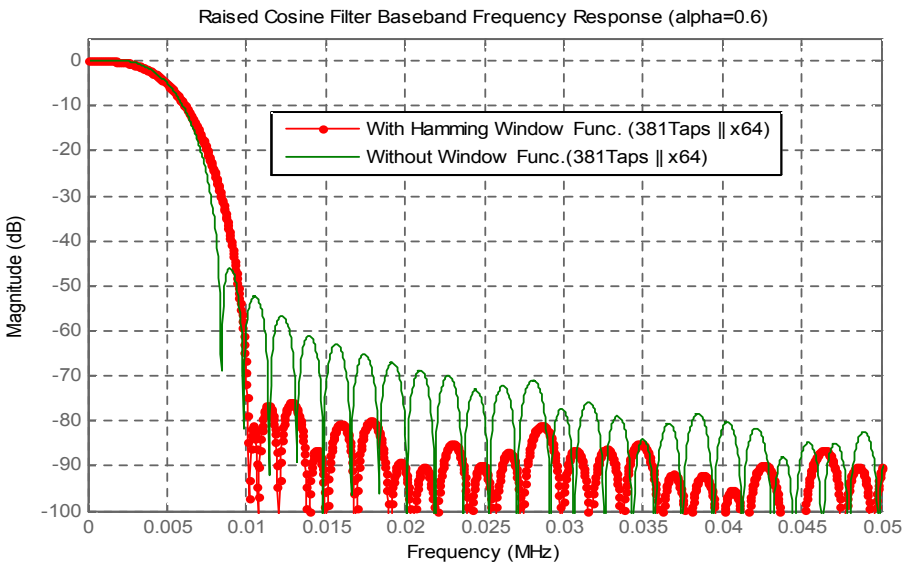
틀리게 된다.

⑧ Raised Cosine Filtering

VDL 모드-2에서 변조기는 채널 필터로 Raised Cosine 필터를 사용하며 알파는 0.6이다. 그러나 수신기에서는 본 필터를 그대로 사용하지 않는다. (식 3-5-12)는 Raised Cosine 필터의 임펄스 응답을 나타낸 것이다.

$$h(t) = \frac{\left(\frac{\sin\left(\frac{\pi t}{\mathbb{T}_S}\right)}{\frac{\pi t}{\mathbb{T}_S}}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \alpha t}{\mathbb{T}_S}\right)}{1-\left(\frac{2\alpha t}{\mathbb{T}_S}\right)^2}, \quad 0 \le \alpha \le 1 \qquad \text{(식 3-5-12)}$$

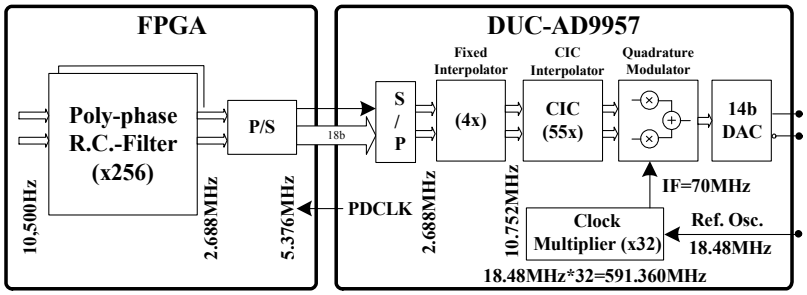
<그림 3-5-3-31>은 임펄스 응답에 윈도함수를 적용한 경우와 그렇지 아니한 경우의 특성을 비교한 것이다. 윈도함수(Hamming)를 적용한 경우가 훨씬 더 사이드 로브 억압 특성이 뛰어남을 볼 수 있다. 또한 윈도함수를 적용함으로써 대역폭이 약간 증가하는 경향도 확인이 가능하다. 본 설계에서는 사이드 로브 억압 특성이 좋은 윈도함수를 적용한 Raised Cosine 필터를 채널필터로 사용한다.



<그림 3-5-3-31> Raised Cosine 필터의 기저 대역 주파수 응답

⑨ Digital Up-Converting

대역 제한된 신호(after RC filtering)는 디지털 변조기를 통과하여 최종 IF 신호로 변환된다. 디지털 변조기의 내부는 다음 그림과 같이 클록 합성기, Fixed x4 Interpolator, variable CIC filter, Quadrature Modulator, 14비트 DAC 등으로 구성되어 있다.



<그림 3-5-3-32> 디지털 업 컨버터의 구조

⑩ Analog Image Rejection Filtering

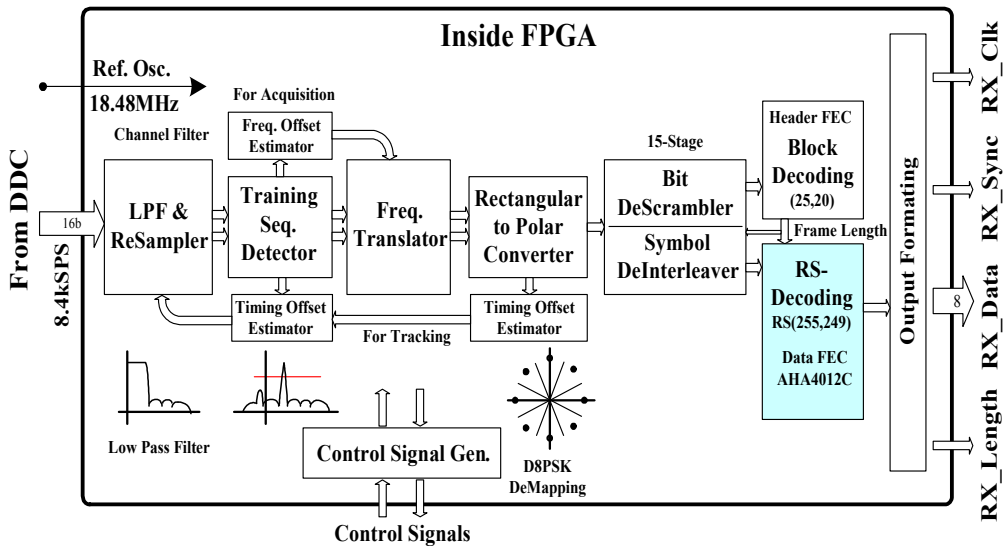
DA 변환 과정에서 수반되는 이미지 성분을 제거하기 위해 저역 통과 필터를 사용한다. 본 설계에서는 f_{sys}= 591.360MHz이고, f_{IF}= 70 MHz이므로 이미지 성분은 140 MHz와 1 GHz 대역 부근에서 발생하기 때문에 저역 통과 필터의 차단 주파수를 100 MHz로 결정하였다.

⑪ Band Pass Filtering

저역 통과 필터의 다음 단에는 대역 외 하모닉 성분과 스퓨리어스 성분 등을 제거하기위해 대역 통과 필터를 사용한다. 본 설계에서는 중심 주파수가 70 MHz이고, 대역폭이 ±25 kHz인 협대역 BPF (TB0505A)를 사용한다. 여기서 실제 전송 대역폭보다 큰 이유는 Raised Cosine 필터링된 신호를 왜곡 시키지 않기 위함이다.

(다) 복조기 설계

<그림 3-5-3-33>은 복조기 내부 구성도이며, 변조기에 비해 그 구조가 훨씬 복잡하다. 각각의 블록들에 대한 기능과 설계 방법을 데이터의 흐름 순서로 기술한다.



<그림 3-5-3-33> 복조기 베이스 밴드 프로세서 내부 구성도

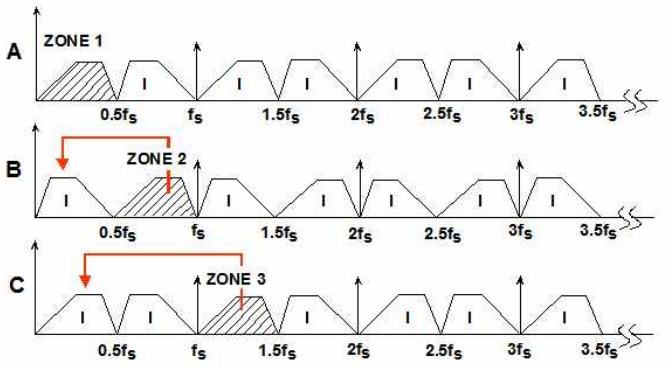
① Band Pass Filtering

수신된 IF 신호는 원하는 대역의 신호만을 취하기 위해 대역 통과 필터(BPF)를 사용한다. 본 설계에서 사용하는 BPF는 중심 주파수가 70 MHz이고, 대역폭이 ±25 kHz인 협대역 필터를 사용 한다. (Insertion Loss : 3.2dB)

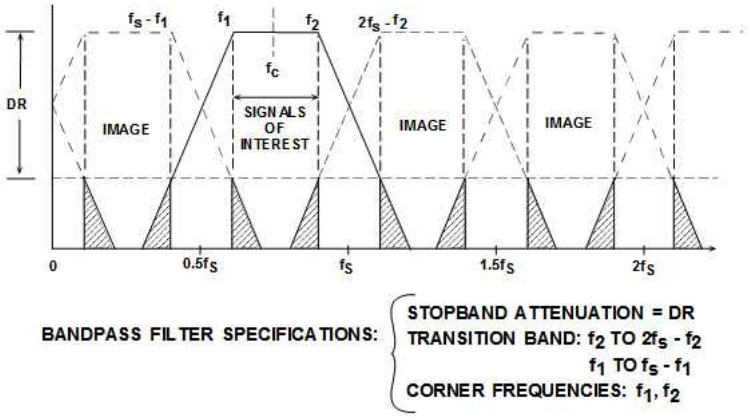
② AD Converting

대역 통과된 아날로그 IF 신호를 베이스 밴드 신호로 변환하기 위해 디지털 IF ADC를 사용한다. <그림 3-5-3-34>는 원하는 신호대역 보다 샘플링 주파수가 낮을 경우(undersampling) alias signal이 첫 번째 나이퀴스트 영역으로 주파수 이동이 되는 현상(image signal)을 보여주고 있다. 여기서 짝수 번째 나이퀴스트 영역은 스펙트럼이 반전된다는 점에 주의해야 한다. undersampling 기법 적용 시에 주의 점은 모든 나이퀴스트 영역의 신호가 첫 번째 나이퀴스트 영역으로 폴딩-백 되기 때문에 원하는 나이퀴스트 영역외의 신호를 제거하기 위해 대역통과필터를 사용해야 한다는 것이다. 일반적으로 antialiasing filter는 억압특성이 좋은 SAW 필터를 2단 종속접속(cascade)하여 사용한다. <그림 3-5-3-35>는 antialiasing filter의 억압특성을 완화시키는 방법으로 샘플링 레이트를 적절히 선정하여 원하는 나이퀴스트 영역에서 중심주파수(IF)의 위치를 가운데로 위치시키는 방법을 보여준

다. 다시말하면 undersampling 방법을 적용하기 위해서는 적절한 샘플링 레이트의 선택이 중요함을 의미한다.



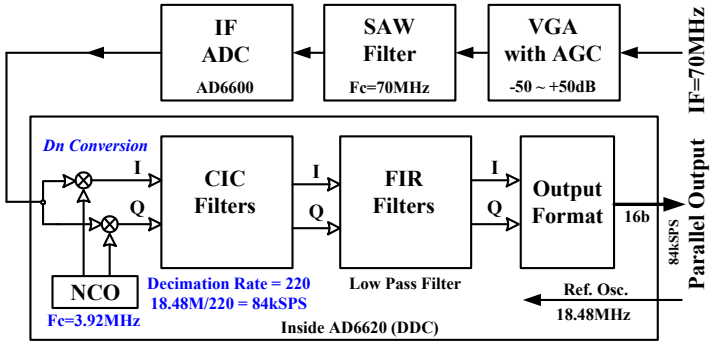
<그림 3-5-3-34> Undersampling and Frequency Translation Between Nyquist Zones



<그림 3-5-3-35> Antialiasing Filter for Undersampling

③ Digital Down-Converting

Undersampling 결과 3.92MHz 대역의 신호를 기저 대역 신호로 변환하기 위해 아래 그림과 같은 디지털 복조기(DDC)를 사용한다. 디지털 복조기의 주요 기능 블록으로는 기저대역 신호로 하향 변환하는 Digital Quadrature Demodulator, 샘플링 레이트를 낮추는 CIC decimating filter, 이미지 성분 제거와 원하는 대역으로 제한하는 LPF 등이 있다. <그림 3-5-3-36>은 설계된 디지털 다운 컨버터의 구조를 보인 것이다.



<그림 3-5-3-36> 디지털 다운 컨버터의 구조

④ Training Sequence Detecting

기저대역 신호로부터 메시지를 복원하기 위해서 가장 먼저 수행하는 것은 훈련 신호를 검출하는 것이다. 검출한 훈련 신호를 이용하여 다음 절에서 기술하는 샘플링 타이밍 추정과 주파수 오프셋 추정 등 복조에 필요한 전반적인 기본 작업을 수행한다. 훈련신호를 검출하기위해 상관기(correlator)를 사용하며 상관 값의 크기는 주파수 오프셋이 증가함에 따라 감소하기 때문에 주파수 오프셋 ±960 Hz까지 포착 가능한 훈련신호 검출기를 설계한다. 후반부에서 다시 자세히 설명한다.

⑤ Symbol Timing Estimation and Tracking

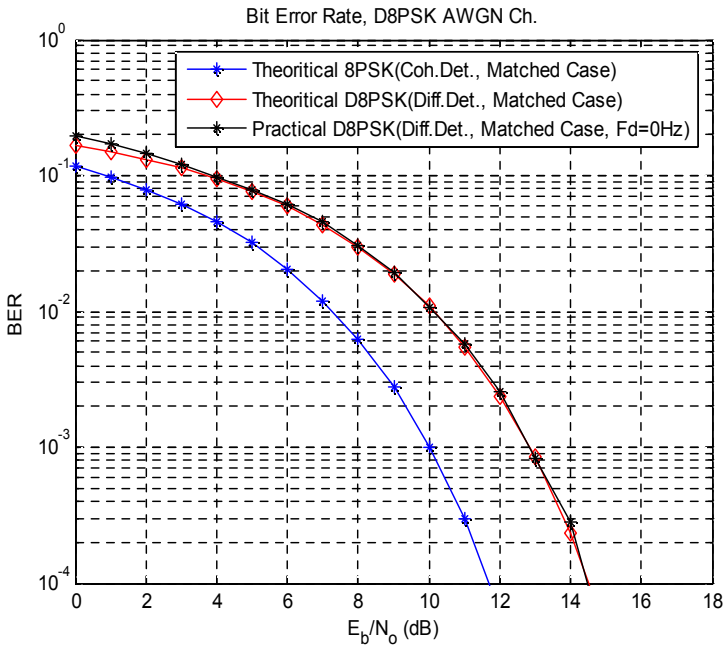
상관 값이 가장 큰 시점의 샘플로부터 초기 심벌 타이밍 정보를 추출하고 타이밍 오프셋을 보상한다. 훈련신호 다음의 데이터 심벌에 짧은 순간 동안은 훈련신호로부터 얻은 타이밍 정보를 이용할 수 있지만, 나머지 심벌들까지 심벌 타이밍을 유지하기 위해서는 추적하는 능력이 필요하게 된다. 이렇게 심벌 타이밍을 추적(tracking)하기 위해서는 데이터 심벌에서 타이밍 오프셋 정보를 찾아야 한다. 본 설계에서는 초기 심벌 타이밍을 획득하는 기능과 유지하기위한 추적 기능을 겸비하도록 설계한다. 후반부에서 다시 자세히 설명한다.

최대 전송 버스트 시간 : (16 + 25/3 + 255*66*8/3)/10,500 = 4.277 sec

⑥ Frequency Offset Estimation and Tracking

본 D8PSK 변조 방식에서 BER 성능은 반송파의 위상 오프셋에 대한 영향은 미미하나, 주파수 오프셋에 대해서는 상당히 민감한 결과를 보인다. <그림

5-3-37>은 그 영향 정도를 시뮬레이션을 통해 분석한 것이다.



<그림 3-5-3-37> 정합된 경우의 비트오율

여러 시뮬레이션을 통해 비정합일 경우에 대해 저역 통과 필터의 차단 주파수를 $f_{edge} = (1+\alpha)/2T_S$ 보다 약간 더 줄임으로써 1 dB 정도의 성능 향상을 얻음을 알 수 있었다. 본 시뮬레이션의 목적은 비정합된 경우 주파수 오프셋이 BER 성능에 얼마만큼의 영향을 미치는가를 알기 위함이다. 다시 말하자면 수신기에서 얼마만큼의 주파수 오프셋 추정 및 보상 능력을 가져야 하는가이다. 본 시뮬레이션의 결론으로는 훈련 심벌을 이용해 초기 주파수 오프셋을 100 Hz 이내로 추정하고 보상해야 된다는 것이다. 물론 마지막 심벌까지 유지하기위해서는 메시지 심벌을 이용해 주파수 오프셋을 추정하고 보상해야 한다.

아래 표는 BER 10^{-3}을 만족하도록 요구되는 최소 수신기 입력 전력을 계산한 표이다. 여기서 비-정합 채널 필터의 사용으로 감소되는 성능은 1.8 dB로 하였으며 수신기의 잡음특성(Noise Figure)은 18.76 dB 로 다소 크게 정하였다. 아래표 에서 4번 항은 수신기에서 요구되는 SNR이고, 9번 항에서 최소 요구 신호 레벨은 -93.26 dBm으로 표준안에서 요구하는 수신감도 -98 dBm을 만족하기 위해서는 6번 항을 최소화해야 됨을 알 수 있다.

<표 3-5-3-10> 수신기 최소 입력 신호 레벨

1	Eb/No (10-3 BER)	13.00dB
2	Es/No (without Loss) = SNR = ① + 10log(3)	17.77dB
3	Imp. Loss + RC Loss = 1 + 1.2 + 1.8 = 4dB	04.00dB
4	Es/No (with Loss) = SNR = ②+③	21.77dB
5	kTo	-174dBm/Hz
6	Effective Noise Figure	18.76dB
7	Baud Rate (R) = 10log(10.5x103)	40.21dBHz
8	No*R = ⑤+⑥+⑦	-115.03dBm
9	Required Receiver Input Power = ④+⑧	-93.26dBm

⑦ Symbol De-Mapping & Differential Decoding

훈련신호 다음 심벌부터는 심벌을 재배치하고, 디퍼렌셜 디코딩을 수행해야 한다. 심벌 재배치(symbol demapping)에는 rectangular-to-polar 변환기를 사용한다. 디퍼렌셜 디코딩은 인코딩에서 현재 심벌의 위상에 다음 위상을 더했지만, 디코딩은 이전 심벌의 위상에서 현재의 위상을 빼주는 것만 다르다. rectangular-to-polar 변환기는 COordinate Rotation DIgital Computer(CORDIC) 알고리즘을 적용하여 설계한다.

⑧ Bit De-Scrambling

디퍼렌셜 디코딩된 비트 열은 송신 시에 스크램블 되었기 때문에 반드시 디 스크램블 되어져야 한다.

⑨ Length Field Syndrome Decoding

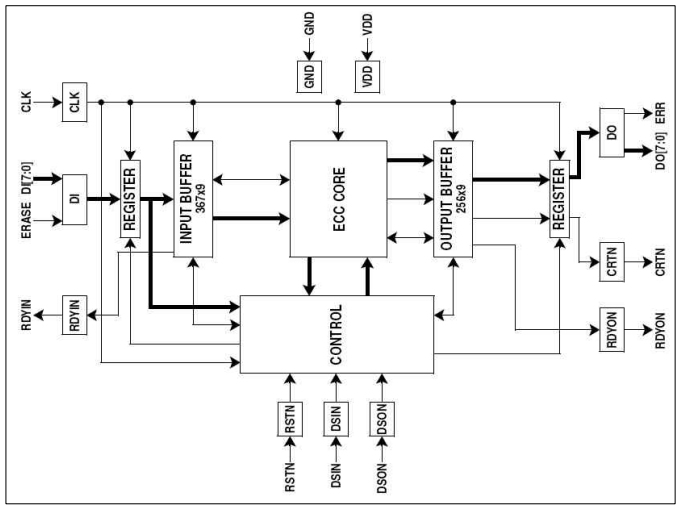
변조기 설계에서 이미 기술하였고 디코딩 방법은 수신된 비트와 패리티 행렬을 곱하여 신드롬을 계산한 후 롬 테이블에 저장된 에러패턴을 더하는 방법으로 디코딩을 수행한다. 이 정보는 디-인터리버와 RS 디코더의 블록 크기를 계산하는데 사용된다.

⑩ Block De-Interleavering

길이필드의 정보를 이용하여 전송된 블록의 크기(행과 열의 개수)를 계산하여 디-인터리빙을 실시한다.

⑪ Data Field Reed-Solomon Decoding

본 복조기에서는 RS 디코더로 AHA4012C를 사용한다. <그림 3-5-3-38>은 본 설계에서 적용할 AHA4012C 칩의 내부 구성 블록도이다.



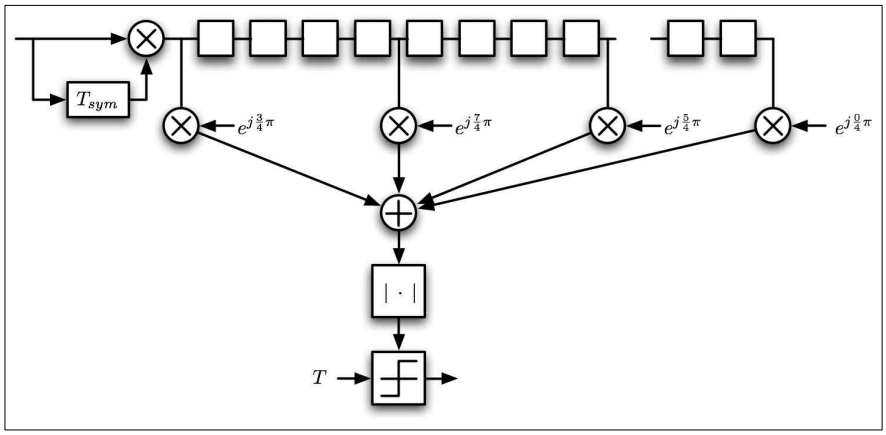
<그림 3-5-3-38> Reed-Solomon FEC 블록 다이어그램

(라) 수신 알고리즘 및 성능

① Preamble 검출

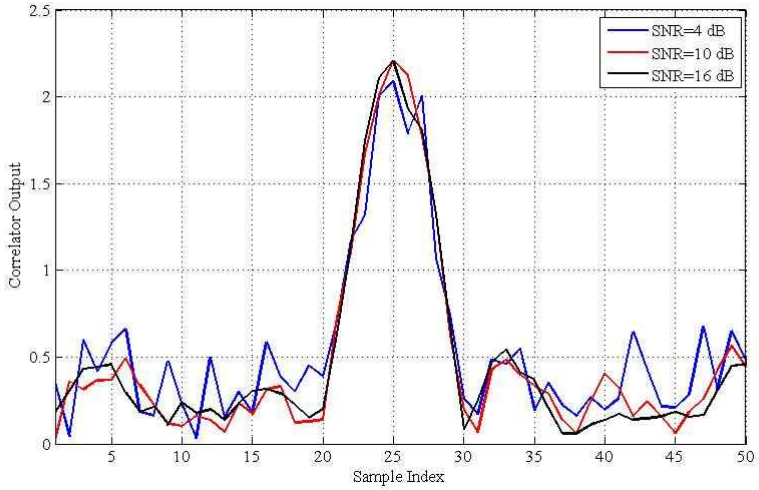
프리앰블 검출은 초기 주파수 동기 및 심벌 타이밍 동기 이전에 수행되어야하는 부분이다. 따라서 반송파 주파수 및 위상 그리고 타이밍 오프셋이 있는 경우에도 안정적으로 동작할 수 있는 알고리즘의 도출이 필요하다. 특히 VDL Mode2 시스템의 경우 송/수신기 간의 주파수 오프셋과 도플러 주파수 천이 값을 같이 고려할 경우 최대 960 Hz의 초기 주파수 오프셋이 존재할 수 있다. 이는 D8PSK 심벌 하나 당 약 33도의 위상 회전을 야기할 수 있는 정도의 주파수 오프셋이므로 기존에 사용되던 프리앰블 검출 방법을 바로 적용할 경우 심한 성능 저하를 야기할 수 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위하여 본 설계에서는 차등복호를 수행한 다음 수신 신호와 수신기에서 생성된 프리앰블 패턴과의 correlation을 수행하고 해당 신호의 절대값을 취한 결과를 설정된 임계값과 비교하여 프리앰블의 존재 여부를 판단하는 방법을 사용하고자 한다. 본 설계에서 고려한 프리앰블 검출 알고리즘을 도식화하면 <그림 3-5-3-39>와 같다.

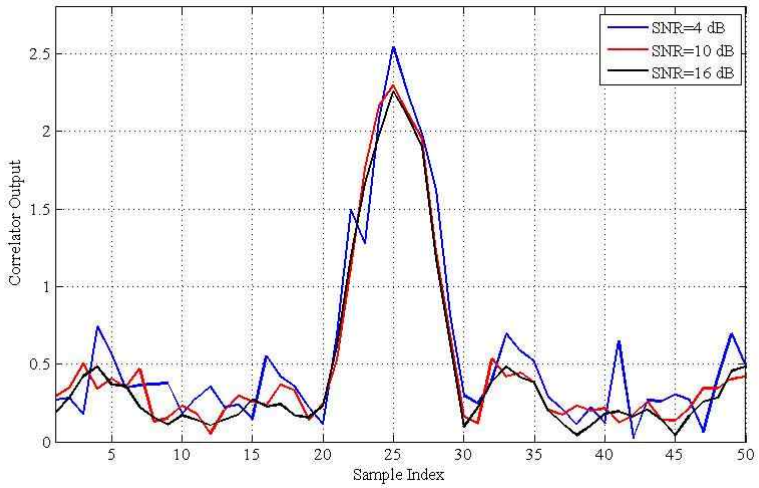


<그림 3-5-3-39> 프리앰블 검출기의 구조

<그림 3-5-3-39>에서 볼 수 있는 바와 같이 oversampling된 기저대역 신호는 차등검출기를 통과한 다음 correlator로 입력된다. Correlator에서는 차등검출기 출력 신호와 수신기에서 가지고 있는 프리앰블 패턴을 이용하여 correlation을 구한 다음 해당 복소수 신호의 크기를 구한다. 이렇게 구해진 크기값은 임계값과 비교하여 임계값보다 클 경우 프리앰블이 존재하는 것으로 판단한다. <그림 3-5-3-39>는 oversampling을 4회 한 경우를 예시한 경우이며, oversampling rate로 더 큰 값을 사용한 경우에도 동일한 구조를 이용할 수 있다. 이 correlator를 이용하여 구한 correlation값을 신호 대 잡음비(SNR)에 따라 관찰하면 <그림 3-5-3-40>과 같다. 시뮬레이터의 구조 상 프리앰블의 정확한 시작점은 25번째 샘플 값이며, SNR이 증가함에 따라 정확한 프리앰블의 시작점을 <그림 3-5-3-39>과 같은 구조의 프리앰블 검출기로 찾아낼 수 있다. 주파수 오프셋이 존재하는 경우 correlator의 출력 신호를 살펴보면 <그림 3-5-3-41>림과 같다. 이때 사용한 주파수 오프셋 값은 960 Hz이다. 주파수 오프셋이 존재하는 경우에도 correlator의 출력 값이 크게 열화되지 않음을 확인할 수 있다.



<그림 3-5-3-40> SNR에 따른 상관 값. 주파수 오프셋 = 0.



<그림 3-5-3-41> SNR에 따른 상관 값. 주파수 오프셋 = 960Hz.

차후 이 프리앰블 검출기를 사용한 경우의 신호 대 잡음비와 임계값 등에 따른 false alarm probability와 missing probability를 전산실험을 통하여 확인한 다음 최적의 임계값을 설정하도록 한다. 다음은 표준안에서 제시하는 오판 및 놓칠 확률은 각각 10E-10과 10E-8 이다.

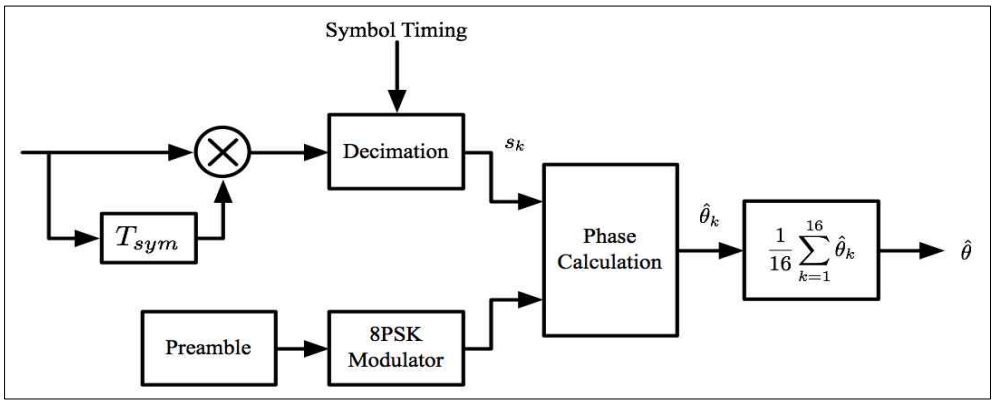
② Frequency Offset 추정 및 보상

수신 신호에 frequency offset이 존재하는 경우 차등변환기의 출력 신호에는 일

정한 값의 phase offset이 나타나게 된다. 이때 차등변환기 출력 신호에 남아 있는 phase offset 값은 초기 phase offset 값과 수신 신호에 남아 있는 frequency offset에 의한 phase rotation 값이 더해져서 보이게 된다. 차등변환기의 출력 신호를 최적의 표본화 시간으로 표본화한다고 가정하면 표본화된 신호 s_k는 (식 3-5-13)과 같이 표현될 수 있다.

$$s_k = e^{j(d_k + \Delta f T + \theta_o)} \qquad (3\text{-}5\text{-}13)$$

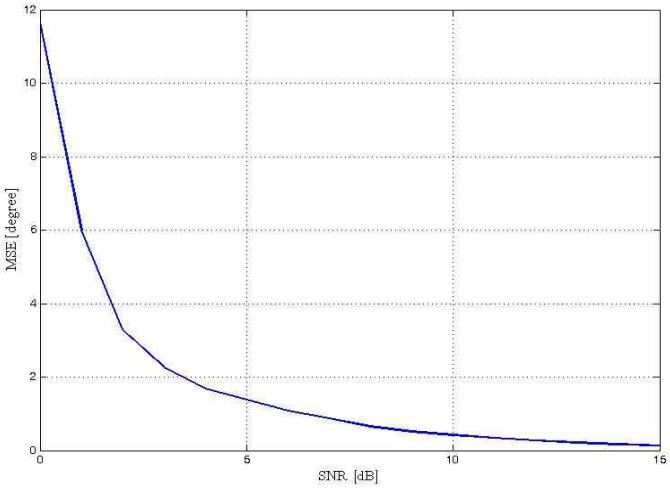
여기에서 d_k는 k 번째 데이터에 해당하는 phase 값이며 Δf는 frequency offset 값이다. 그리고 θ_o는 초기 phase offset값이며 T는 symbol duration을 나타낸다. 위의 식에서 볼 수 있는 바와 같이 차등변환기가 사용됨에 따라 frequency offset이 일정한 양의 phase rotation으로 따라서 복조를 위해서는 이와 같은 차등변환기 출력 신호에 남아 있는 phase offset값을 추정하여 보상하여야 한다. 본 시스템의 경우 16개의 심벌이 사용된다. 따라서 16개의 프리앰블 신호를 이용하여 차등변환기 출력 신호에 남아 있는 위상 오차를 복원할 수 있다. 이를 위한 잔류 위상 오차 추정기의 구조는 <그림 3-5-3-42>와 같다.



<그림 3-5-3-42> 잔류 위상 추정기의 구조

이와 같은 잔류 위상 오차 추정기를 이용하여 추정한 잔류 위상 오차의 MSE (mean squared error)를 신호 대 잡음비에 따라 관찰하면 <그림 3-5-3-43>과 같다. 신호 대 잡음비가 증가함에 따라 MSE가 줄어들며, 신호 대 잡음비 10 dB 이상이 되면 거의 0으로 수렴함을 확인할 수 있다. 이와 같이 추정된 잔류 위상 오차는 수신 신호에 잔류해 있는 frequency offset에 의하여 발생하므로 추정된 값을

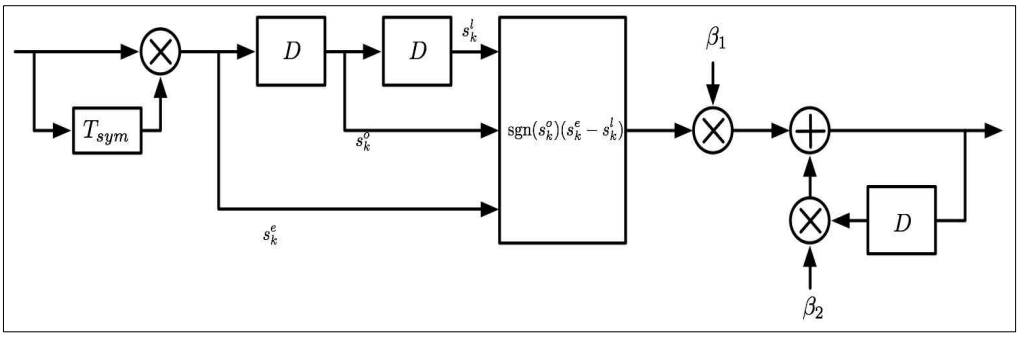
이용하여 수신 신호의 frequency offset 역시 추정할 수 있다. 초기 잔류 위상 오차 추정기는 프리앰블 이후에 나타나는 데이터 부분에서도 거의 유사한 방식으로 적용이 가능하다. 다만 프리앰블 대신 복조된 신호를 이용하는 DD (Decision Directed) 방식으로 위 그림에서 도시된 잔류 위상 오차 추정기를 수정하면 된다.



<그림 3-5-3-43> 잔류 위상 오차 추정기의 MSE 성능

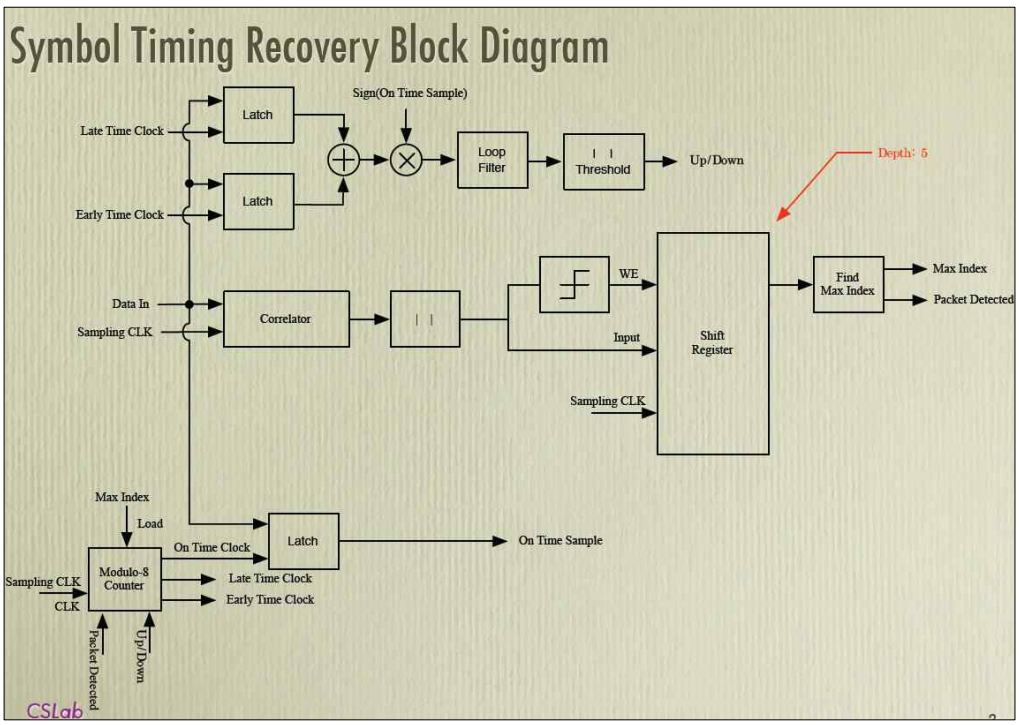
③ Symbol Timing Error 추정 및 보상

초기 symbol timing의 경우에는 앞에서 살펴본 프리앰블 검출기의 출력 값을 관찰하여 최댓값을 갖는 샘플 위치를 찾아 추정할 수 있다. 즉, 최대 상관값을 갖는 샘플의 위치가 추정된 심벌 타이밍 위치와 일치하므로 이를 이용하여 초기 symbol timing을 추정할 수 있다. 그러나 송수신기의 clock drift로 인하여 symbol timing이 변하게 되므로 계속해서 심벌 타이밍을 추정해서 보상해주어야 한다. 본 모뎀은 패킷 방식으로 동작하므로 closed loop의 symbol timing 복원 알고리즘보다는 open loop symbol timing 복원 알고리즘이 적합하다고 볼 수 있다. 따라서 본 설계에서는 패킷 방식의 통신 시스템에 적합한 symbol timing 복원 알고리즘을 적용한다. 패킷 방식의 통신 방식에서 가장 원활하게 사용할 수 있는 심벌 타이밍 복원 알고리즘으로는 early-late symbol timing 복원 알고리즘을 들 수 있다. 본 설계에서 적용한 early-late symbol timing 복원 알고리즘의 구조는 <그림 3-5-3-44>와 같다.



<그림 3-5-3-44> Early-late symbol timing 복원기의 구조

이 방식으로 도출된 symbol timing error는 계속해서 누적이 되는데, 이 때 현재 error 값과 누적기에 누적된 error값을 각각의 gain으로 scaling하여 tracking 성능을 최적화한다. <그림 3-5-3-45>는 본 수신기에서 구현한 초기 심벌 타이밍 획득 및 추적을 수행하는 통합 블록도이다.

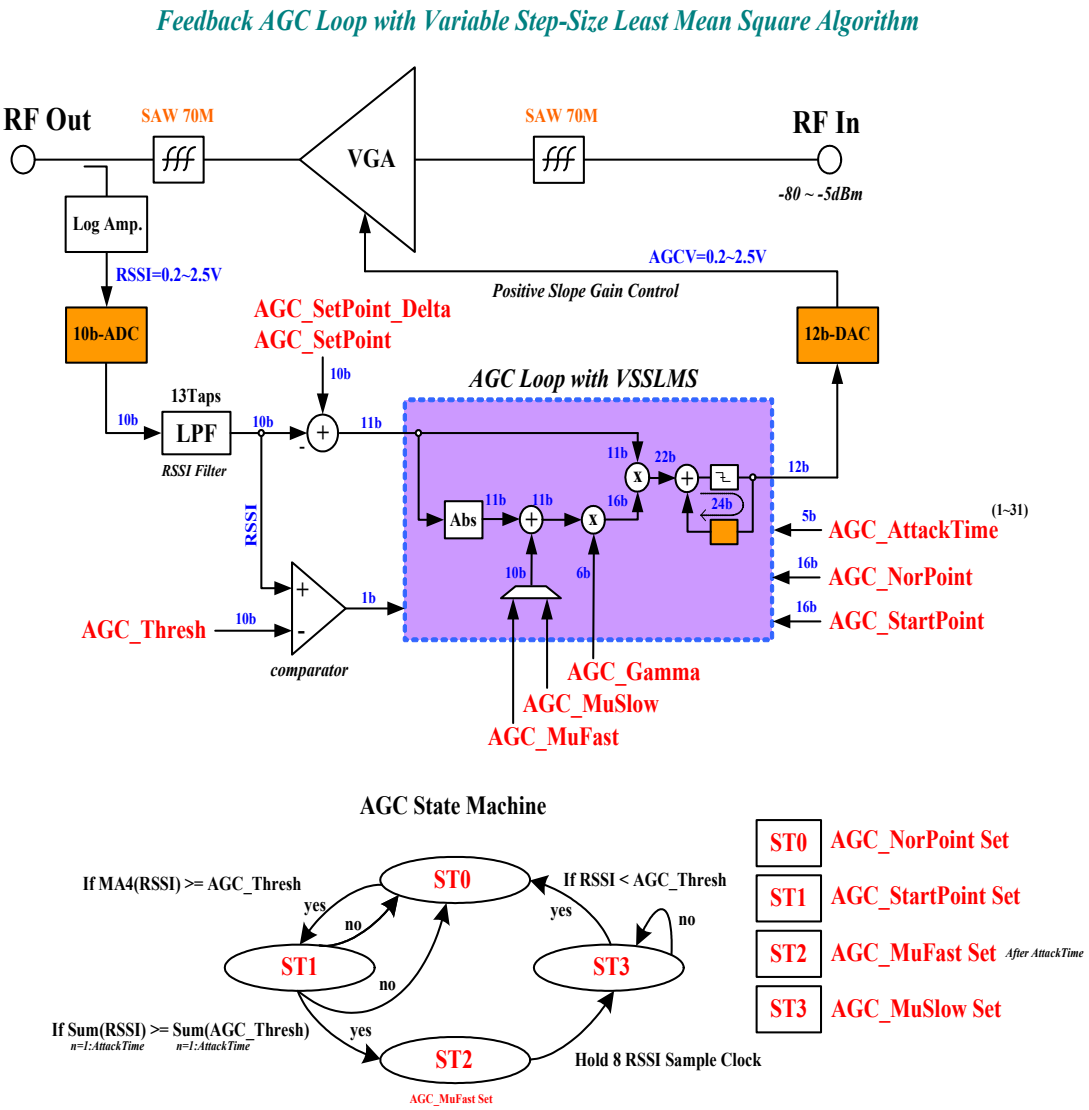


<그림 3-5-3-45> 심벌 타이밍 복원기 구조

④ 버스트 모드 AGC Loop

본 송수신기는 버스트 모드로 동작하기 때문에 버스트 검출과 이득의 안정화가 중요시 된다. 송신 시에 RampUp과 AGC를 위해 영 심벌 3개를 프리앰블 앞에 붙

이는데 수신기에서는 3심벌 이내에 이득이 안정화 되어야 한다. 만약 프리앰블 구간에서 수신신호가 포화될 경우 복조하는데 어려움이 따르기 때문에 프리앰블 이전에 이득이 안정화 되어야 한다. 그렇게 하기위해 본 모뎀에서는 ADC와 DAC를 이용하여 AGC를 디지털로 처리하도록 설계하였다. <그림 3-5-3-46>은 AGC 블록도와 상태머신으로 입력되는 신호가 임계값을 초과하면 버스트로 간주하여 상태머신에 따라 AGC 동작이 수행된다. RFFE의 특성에 따라 잡음 레벨이 변하기 때문에 AGC에 관련된 파라미터를 UART 포트를 통하여 변경이 가능하도록 설계한다.



<그림 3-5-3-46> 버스트 모드 AGC Loop 블록도

(4) 지상용 초단파 데이터 전원공급기 (Ground VHF Data Link Power Suply)

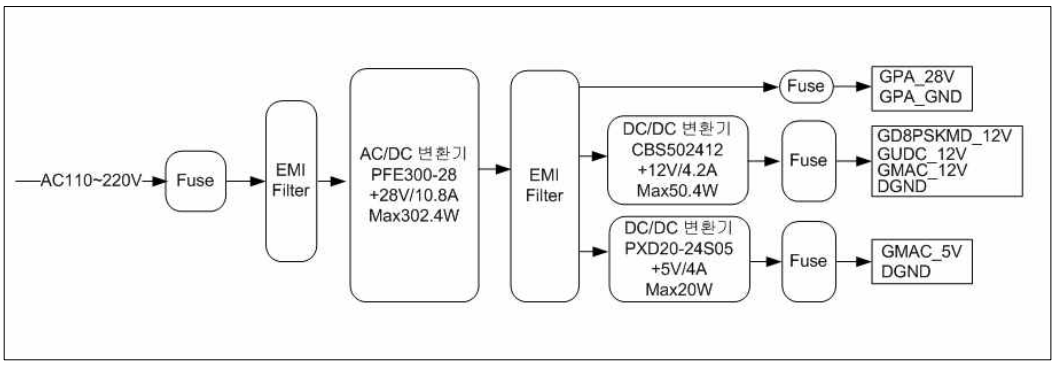
지상용 초단파 데이터 전원 공급기는 외부로 입력되는 전원을 상/하향 주파수 변환기, 고출력 증폭기, D8PSK 변복조기, MAC에 필요한 전원으로 변환하여 공급하는 역할을 한다. 초단파 데이터 전원공급기의 설계 사양은 <표 3-5-3-11>과 같다.

<표 3-5-3-11> 지상용 초단파 데이터 전원공급기(GVDLPS) 설계 사양

구분	항 목	설 계 사 양
입력	교류 입력	AC 110~220V / 50~60Hz
출력	DC_28V	DC_28V/10.4A, 302.4W
	DC_12V	DC_12V/4.2A, 48W
	DC_5V	DC_5V/4A, 20W
구성품 필요전원	지상용 상·하향 주파수 변환기	DC_12V/1A, 12W
	지상용 고출력 증폭기	DC_28V/5.4A, 151.2W
	지상용 D8PSK 변복조기	DC_12V/2A, 24W
	지상용 MAC	DC_5V/4A, 20W DC_12V/1A, 12W

(가) 지상용 초단파 데이터 전원공급기 시스템 구성

지상용 초단파 데이터 전원 공급기(GVDLPS)의 상세 구성도는 <그림 3-5-3-47>과 같다.

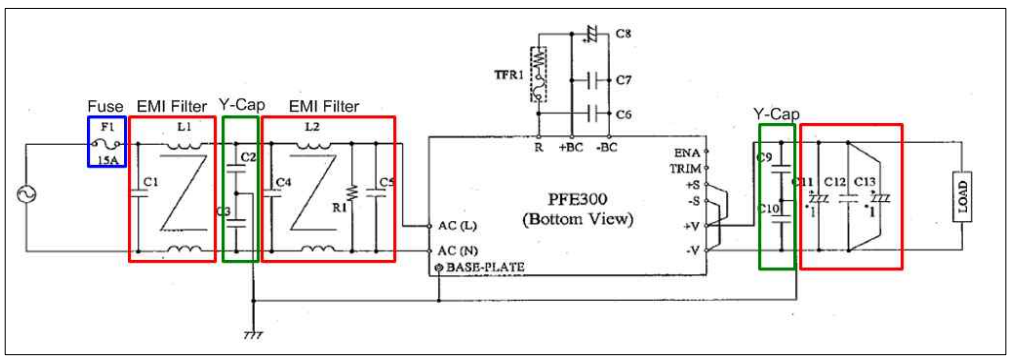


<그림 3-5-3-47> 지상용 초단파 데이터 전원공급기(GVDLPS)상세 구성도

GVDLPS는 EMI Filter와 AC/DC변환기, DC/DC변화기로 구성된다. GVDLPS는 외부로부터 AC110~220V(±15%)의 전원을 공급받으며, 공급된 전원은 AC Noise Filter를 통과하여 AC/DC 변환기에 입력된다. AC/DC 변환기와 DC/DC 변환기는 온도변화와 입력전압의 변화에도 안정성을 갖는 것을 최우선으로 하며, 각 모듈에 최대로 입력되어야하는 전력을 기준으로 선정되었다. 변환기 각각의 입력 단에는 내부회로 보호를 위한 Fuse와 회로에서 방사되는 Noise와 입력전원으로부터 유입되는 Noise를 최소화 하기위한 Filter를 추가하였다.

(나) AC/DC변환기 입출력 설계

AC/DC변환기는 입력전원 AC110~220V(±15%)를 만족하며 출력전압 28V를 만족하는 LAMBDA사의 PFE300-28을 선정하였으며, PFE300-28의 참조 회로의 구성과 특성은 <그림 3-5-3-48> 및 <표 3-5-3-12>와 같다.



<그림 3-5-3-48> PFE300-28 Reference회로

<표 3-5-3-12> PFE300-28의 특성

PFE-300-28	
입력전원	110~220V(15%)VAC
출력전원	28VDC
효율	86~89%
출력전류	10.8A
동작온도	-40 ~ 100°C

기본적으로 PFE300-28 AC/DC변환기는 역률보정기능을 내장하고 있어 입력전압, 출력전류의 변동에도 안정된 전력을 출력할 수 있는 기능을 갖는다. EMI문제와 입력 단에서 발생할 수 있는 Noise를 최소화 하기위해 AC전원 입력 단에는 EMI Filter와 전원 Noise Capacitor를 설계하였고, 출력 전압의 안정도를 높이기 위해서 Capacitor와 Noise Filter를 추가하였다.

① AC/DC변환기 EMI Filter

전원부에 추가되는 노이즈필터는 전선에 포함되어 있는 노이즈를 흡수 제거하기 위한 필터를 말하며, 종류로는 크게 능동필터와 수동필터로 구분이 된다. 보통 병렬과 직렬 리액턴스로 구성되는 L형 필터, 코일과 콘덴서를 π형으로 조합한 것으로서, 정류기의 평활회로 등에 널리 사용되는 π형 필터가 사용된다. GVDLPS회로에는 π형 필터형태로 설계되었으며, Common Mode Coil은 1개의 Core에 2개의 권선이 동상으로 감긴 형태로 통상 전원 전류 내부의 자속을 상쇄시키며, Ferrite core에 의해서 구성되는 큰 Inductor값은 낮은 주파수에서도 큰 저항 값을 갖는다. 따라서 전원 양단으로부터 유입될 수 있는 전원 노이즈를 효과적으로 감소시킬 수 있다. Converter의 입출력에 추가 되어있는 Y-Cap은 입력라인과 프레임 접지로부터 유입될 수 있는 잡음을 감소시켜주며 컨버터를 안정적인 동작하도록 한다. Y-Cap은 프레임 접지와 전원 단 사이에 연결이 되며 컨버터에 최대한 가까이 위치해야 잡음제거를 최대화 할 수 있다. 보통 사용되는 Cap의 용량은 4700pF이상을 사용하지만, 너무 큰 용량을 사용한다면 프레임 접지로 누설전류가 발생할 수 있기 때문에 Cap의 용량은 4700pF으로 결정하였다. 전원노이즈를 제거하기에 적합한 콘덴서의 종류는 고유전율의 디스크형 세라믹 콘덴서나 그것을 적층 구조로 한 적층 세라믹 콘덴서를 이용하는 것이 이상적이지만, 온도특성에 취약하기 때문에 주파수 특성은 약간 떨어지지만, 실용적이고 온도특성이 뛰어난 필름형 콘덴서를 사용하였으며, 전원 입력 단에 연결되어있는 Bleeder저항은 리플에 의한 전압변동률을 감소시켜주고, 전원 OFF시에 콘덴서에 충전되어 있는 전기를 방전시켜 안전사고를 방지할 수 있도록 한다.

② 전원 안정화 회로

전원에는 전압 오차가 있거나 동작 시에 스파이크 잡음이 실릴 가능성도 있으

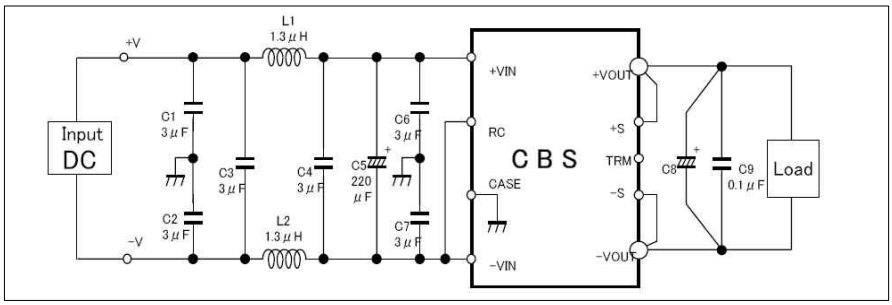
므로 전원에 사용되는 소자의 내압은 전원 전압의 2배로 사용하는 것이 보통이다. 전원양단에 연결되어있는 Capacitor는 보통 X-CAP으로 불리며, Main Harmonic filter이다. 이때 사용되는 Capacitor의 값은 SMPS에서 발생되는 Switching Noise를 효과적으로 제거할 수 있는데, 보통 (식 3-5-14)와 같이 계산이 된다.

$$X_c = \frac{1}{wc} = \frac{1}{2\pi f_0 C} \qquad (3\text{-}5\text{-}14)$$

Switching 주파수가 150KHz일 때, 약 10-ohm의 저항을 갖는 값 0.1uF으로 선정이 되었다. EMI Filter에 사용되는 소 용량의 콘덴서는 등가 전력 용량을 급속 충전하는데 대략 수백 KHz이상의 고주파 전류에 대해서는 효과적이지만, 비교적 주기가 긴 전류 변동에 문제점이 있어서 고용량 콘덴서와 함께 사용한다. GVDLPS 회로는 온도특성, 전압특성을 만족하면서 크기를 최소화 하는 방향으로 콘덴서를 선정하고, 전원 리플에도 안정된 전력을 입력 할 수 있도록 하였다.

(다) 12V DC/DC변환기 입출력 설계

12V DC/DC변환기는 입력전압이 18~36VDC로써 28VDC입력을 만족하고, 출력전압 12V를 만족하는 Cosel사의 CBS502412를 선정하였다. CBS502412는 과전류 보호, 과전압 보호, 온도 보상 회로가 내장되어 있고, 보다 안정적인 전원공급을 위해 Converter 입/출력 단에 Filter와 전원안정화회로를 추가하였다.



<그림 3-5-3-49> CBS502412 Reference 회로

<표 3-5-3-13> CBS502412의 특성

CBS502412	
입력전원	18~36VDC
출력전원	12VDC
효율	Typ 88%
출력전류	4.2A
동작온도	-40 ~ 100°C

① DC/DC변환기 EMI Filter

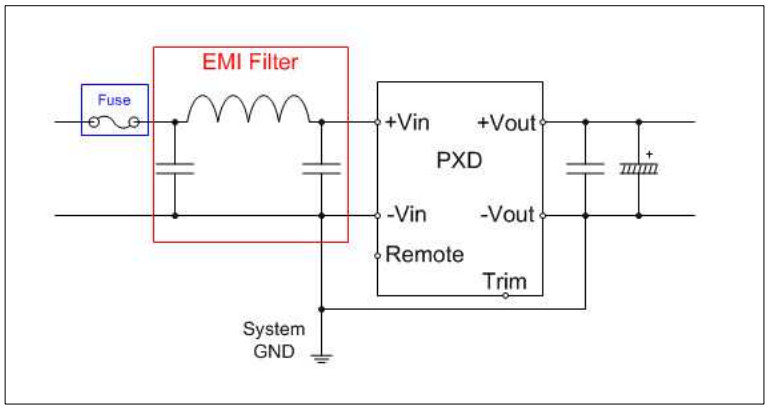
Frame Ground와 전원 양단사이에 Y형으로 연결되어 있는 Capacitance는 섀시와 전원라인 간의 잡음전달을 최소화하기 위해 설계하였으며, 전 단의 전원으로부터 전달될 수 있는 전원 Noise를 최소화하기 위해 π형 Filter를 추가했다. EMI Filter는 전원으로부터 외부로 방사되는 150KHz ~ 30MHz대역의 저주파수 신호를 억제하며, 내부회로에 미치는 영향을 최소화 한다.

② 전원 안정화 회로

EMI Filter이외에 입출력 단에는 고용량 Capacitance를 추가하여 출력 부하의 변동에도 안정된 전원을 출력할 수 있도록 하며, 전압오차와 전원잡음에 의해서 발생할 수 있는 문제를 방지하기 위해 내압은 약 2배로 선정했다.

(라) 5V DC/DC변환기 입출력 설계

5V DC/DC변환기는 입력전압이 18~36VDC로써 28VDC입력을 만족하고, 출력전압 5V를 만족하는 Lambda사의 PXD20-24S05를 선정하였다.



<그림 3-5-3-50> PXD20-24S05 Reference 회로

<표 3-5-3-14> PXD20-24S05 특성

PXD20-24S05	
입력전원	18~36VDC
출력전원	5VDC
효율	typ 89%
출력전류	4A
동작온도	-55 ~ 105℃

① EMI Filter

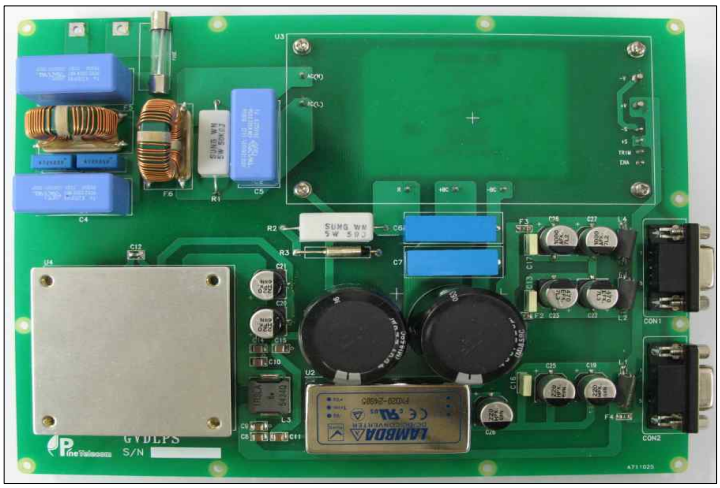
Frame Ground와 전원 양단사이에 Y형으로 연결되어 있는 Capacitance는 새시와 전원라인 간의 잡음전달을 최소화하기 위해 설계하였으며, 전 단의 전원으로부터 전달될 수 있는 전원 Noise를 최소화하기 위해 π형 Filter를 추가한다. EMI Filter는 전원으로부터 외부로 방사되는 150KHz~30MHz대역의 저주파수 제거를 하며, 내부회로에 미치는 영향을 최소화 한다.

② 전원안정화 회로

EMI Filter이외에 입출력 단에는 고용량 Capacitance를 추가하여 출력 부하의 변동에도 안정된 전원을 출력할 수 있도록 하며, 전압오차와 전원잡음에 의해서 발생할 수 있는 문제를 방지하기 위해 내압은 약 2배로 선정했다.

(마) 설계 결과

설계한 지상용 초단파 데이터 전원공급기는 각 보드에서 필요로 하는 최대전력을 적절하게 사용할 수 있도록 AC/DC변환기와 DC/DC변환기를 선택하여 구성하였고, 전원의 입력 단에는 EMI Filter를 이용하여 전원잡음과 불요 방사전력을 미연에 방지하며, 출력 단에는 load전류의 변화에도 안정된 전원을 인가할 수 있도록 설계하였다. <그림 3-5-3-51>은 제작된 지상전원공급기(GVDLPS)의 제품 형상이다.



<그림 3-5-3-51> 지상전원공급기 (GVDLPS) 제품 형상

(5) 매체접근제어

VDL Mode 2 데이터 링크 계층 중 Layer 2인 지상용 MAC(GMAC) Sublayer는 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 알고리즘을 이용하여 물리계층에 대한 Access를 제공하며, 지상용 통신관리 장치(GCMU)와 지상용 초단파 데이터 송수신기(GVDR)의 Physical Layer 계층 상호간의 통신을 위한 Physical Data/Management Interface와 그에 따른 프로토콜 적용을 위한 인터페이스를 제공한다. 지상용 초단파 데이터 송수신기(GVDR)의 데이터 링크계층인 항공용 MAC(GMAC)의 기능은 크게 3가지 부분으로 이루어진다.

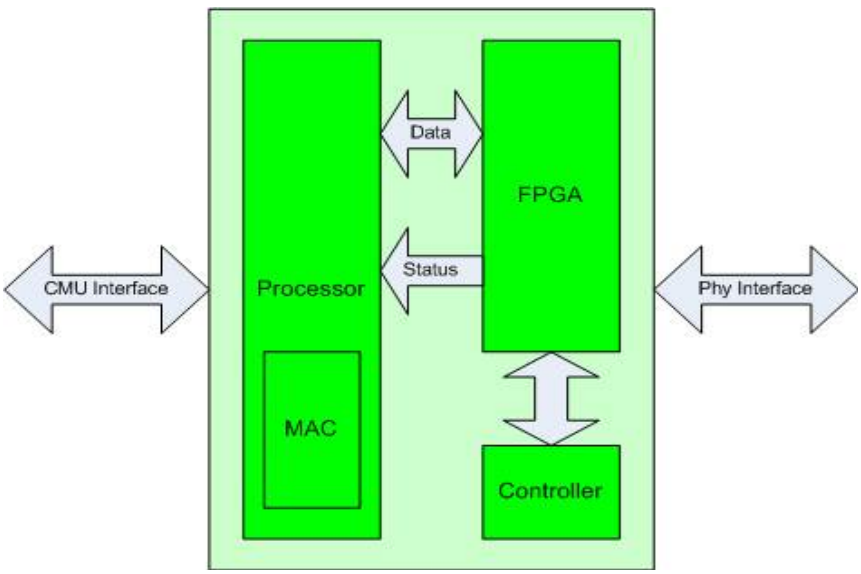
- 지상용 초단파 데이터 송수신기(GVDR)의 MAC 기능을 수행하는 부분
- 지상용 통신관리 장치(GCMU)의 MAC 기능의 수행 및 인터페이스를

제공하는 부분

- 지상용 D8PSK 변복조기(GD8PSKMD) 및 항공용 상하향 주파수 변환기(GUDC)와 MAC 기능의 수행 및 인터페이스를 제공하는 부분

(가) MAC 시스템 구성

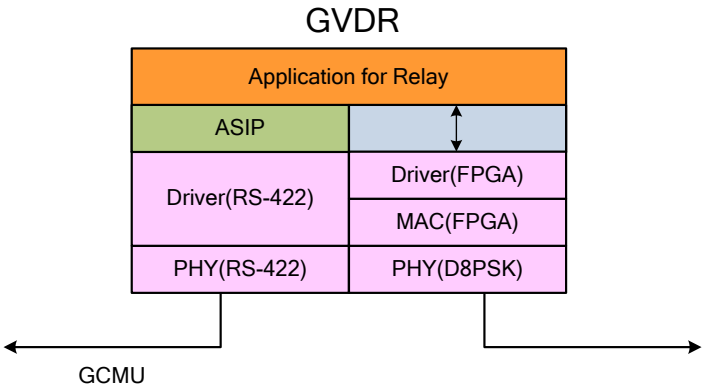
GMAC은 GVDR내부에서 상위계층장비인 GCMU와 GVDR의 물리계층 사이에서의 인터페이스를 제공한다. GMAC은 프로세서와 FPGA 및 인터페이스 디바이스들로 구성되어 있다. 프로세서는 CMU와의 통신 프로토콜 및 CSMA 기능을 담당하고 FPGA는 프로세서가 제공하는 여러정보와 물리계층간의 인터페이스를 담당하여 프로세서의 동작을 위한 각종 파라미터를 제공하고 프로세서가 전송하고자하는 데이터를 물리계층으로 전송하며 비트 스터핑 기능을 수행한다.



<그림 3-5-3-52> GMAC 시스템 구성

① 프로세서 구동 소프트웨어 구성

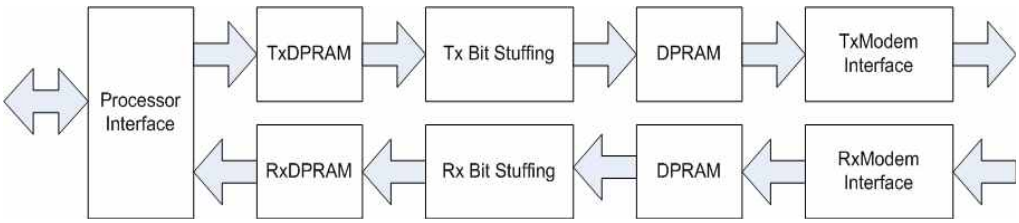
GMAC은 PHY로의 인터페이스를 담당하는 FPGA와 FPGA를 구동 할 수 있는 Device Driver로 구성된다. Device Driver에서는 CSMA 알고리즘과 데이터 송수신, 에러 처리, 주파수 설정 등을 담당하고, FPGA에서는 Device Driver와 PHY의 중간 인터페이스를 담당한다.



<그림 3-5-3-53> GVDR 소프트웨어 구성

② FPGA 구성

GMAC의 FPGA는 프로세서 인터페이스부, 비트 스터핑부, 비트 디스터핑부, 모뎀 인터페이스부 및 메모리로 구성된다. 프로세서 인터페이스부는 어드레스 디코딩을 통한 프로세서와의 데이터/파라미터의 정보를 공유하고, 비트 스터핑부는 물리계층을 통해 전송하고자 하는 데이터에 대하여 스터핑 동작을 수행하며, 비트 디스터핑부는 Phy를 통해 수신된 데이터에 대하여 비트 디스터핑 동작을 수행한다. 또한 모뎀 인터페이스 부는 Phy의 모뎀과의 송수신을 담당한다.



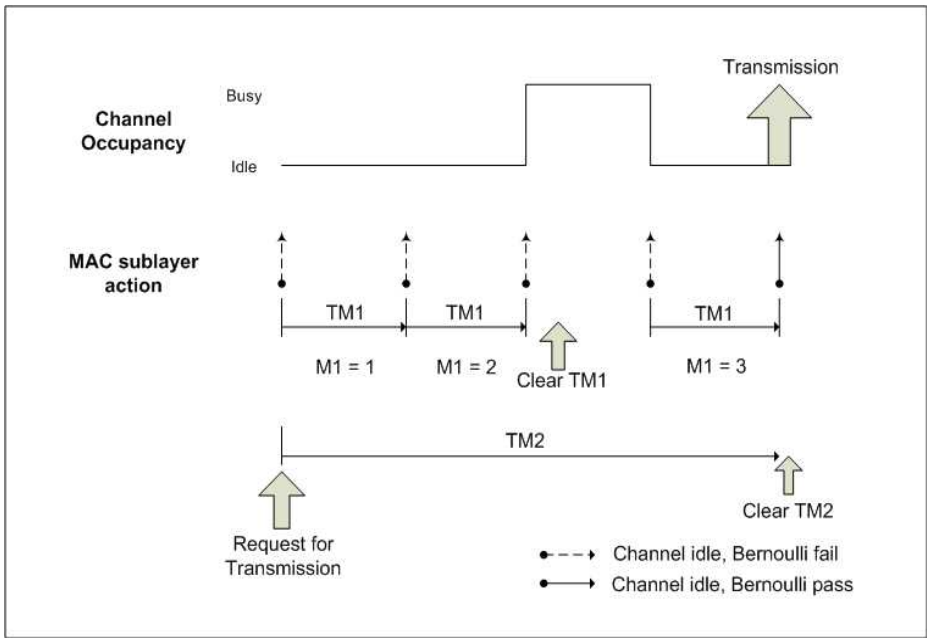
<그림 3-5-3-54> FPGA 내부 시스템 구성

(나) GMAC 시스템 설계

① 소프트웨어 설계

- Interrupt

- <그림 3-5-3-55>는 MAC의 일반적인 동작의 예이다.



<그림 3-5-3-55> MAC 작동 과정의 예제

- FPGA가 TM1시간 마다 주기적으로 Channel Occupancy 와 TX 인터럽트를 띄워주면, Device Driver에서는 p-persistence를 계산하여 전송 여부를 결정한다.

- 계산한 p-persistence가 지정된 p-persistence보다 작으면 데이터를 전송하고, 아니면 M1을 1만큼 증가 시키고 다음 TX 인터럽트를 기다린다.

- FPGA는 데이터를 수신하면 SQP와 RX 인터럽트를 띄워 데이터 수신을 알린다.

- 이때, Device Driver에서는 수신된 데이터의 목적지 주소를 확인하여 내 쪽으로 향하는 데이터이면 UNITDATA.ind로 알려주고 아니면 버린다. 하지만, SQP는 매 수신시마다 SQP.ind로 알려준다.

▪ 주소 설정

- ADDR.req를 수신하면 내 주소와 브로드 캐스트 주소, 멀티캐스트 주소를 세팅한다. 이 주소값은 데이터를 수신했을때 내 쪽으로 향하는 데이터인지 아닌지를 판단한다.

▪ 파라메터 세팅

- PARAM.req를 수신했을 때, TM2와 M1, p 값은 Device Driver의 해당 내부 변수를 변경하고, Frequency는 FPGA를 통해 PHY의 주파수를 변경한다. 또, TM1은 FPGA의 내부 변수를 변경하도록 한다.
- PHY의 주파수 변경은 INFO_REG의 2번 비트를 세팅하고 FREQ_SET_ADDR에 주파수 값을 적는다.
- TM1 값은 INFO_REQ의 4번 비트를 세팅하고 TM1_SET_ADDR에 TM1 값을 적는다.

▪ FPGA 인터페이스

<표 3-5-3-15> FPGA Address 매핑

NAME	Address	Description
CH_USAGE_REG	0xF200_0000	1Byte, IDLE = 0, BUSY = 1
INFO_REG	0xF200_0004	1 Byte 각 비트별 의미는 다음 표 참조
SQP_VALUE_ADDR	0xF200_0008	1 Byte, SQP 값을 세팅한다.
FREQ_ SET_ADDR	0xF200_000C	2 Byte, 세팅할 주파수 값
FREQ_IND_ADDR	0xF200_0010	2 Byte, 세팅한 주파수 값
TM1_SET_ADDR	0xF200_0014	1 Byte, 세팅할 TM1 값
TX_ADDR	0xF201_0000	
RX_ADDR	0xF202_0000	

• INFO_REG 비트별 의미

다음은 INFO_REG의 각 비트별 의미이다.

8	7	6	5	4	3	2	1
			TX_ENABLE	TM1_SET	FREQ_IND	FREQ_SET	SQP

TX_ENABLE	전송할 데이터가 있으면 TX_ADDR에 데이터를 쓰고, 이 비트를 1로 세팅한다. 전송할 데이터가 없으면 0이다.
TM1_SET	FPGA의 TM1 값을 세팅할 때 사용한다. TM1_SET_ADDR에 TM1값을 세팅하고 이 비트를 1로 세팅.
FREQ_IND	PHY의 세팅된 주파수를 확인할 때 사용한다. FPGA는 PHY의 주파수를 읽어 FREQ_IND_ADDR에 값을 세팅하고, 이 비트를 1로 세팅
FREQ_SET	MAC에서 PHY의 주파수를 변경하고자 할 때 사용한다. FREQ_SET_ADDR에 값을 세팅하고 이 비트를 1로 세팅
SQP	SQP 값이 SQP_VALUE_REG에 세팅되면 1, 아니면 0

- 프레임 포맷

Tx Addr, Rx Addr에 데이터를 쓰거나 읽을 때의 Frame Format이다.

Length	DATA
2 Byte	1 ~ 2048 Bytes

② FPGA 설계

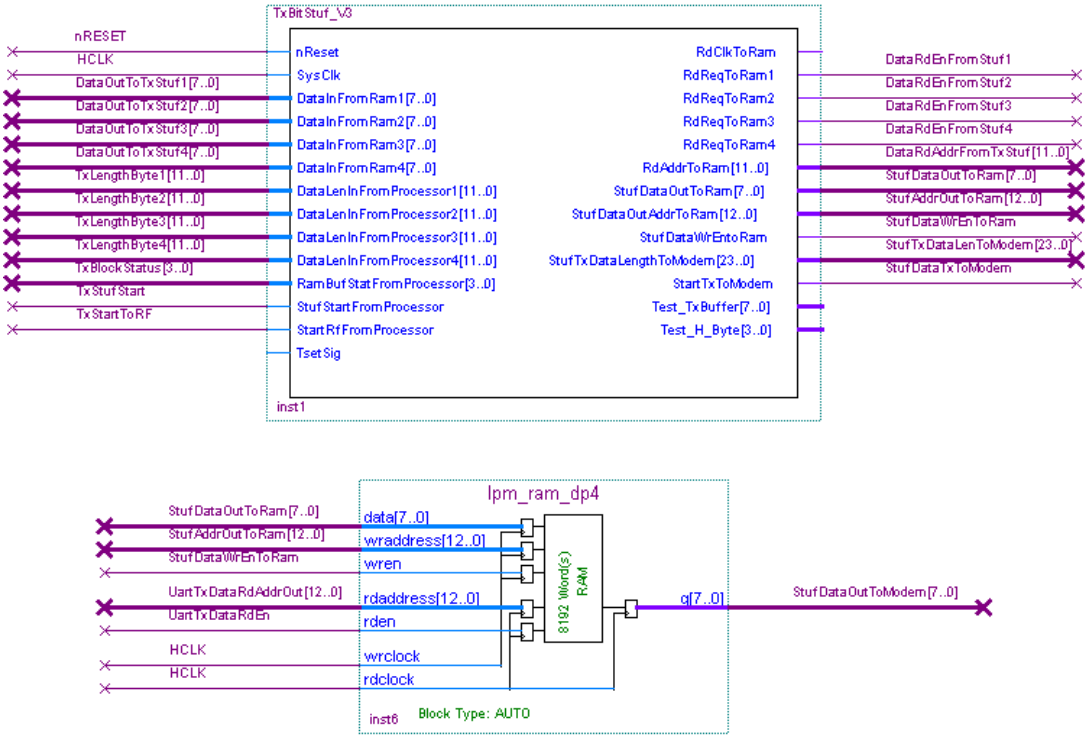
- 프로세서 인터페이스 블록



<그림 3-5-3-56> 프로세서 인터페이스 블록

프로세서 인터페이스 블록은 CMU로부터 수신되어 물리계층에 전달하여야 될 정보 및 설정파라미터를 프로세서로부터 수신하여 설정 및 물리계층으로의 전송를 수행하며 물리계층으로부터 수신한 정보를 프로세서로 전달한다. 또한 CSMA를 위하여 세팅된 TM1값에 따라 TM1인터럽트를 발생시킨다. 비트스터핑 블록과 Tx/Rx각각 4개의 DPRAM를 통하여 연결되어 진다.

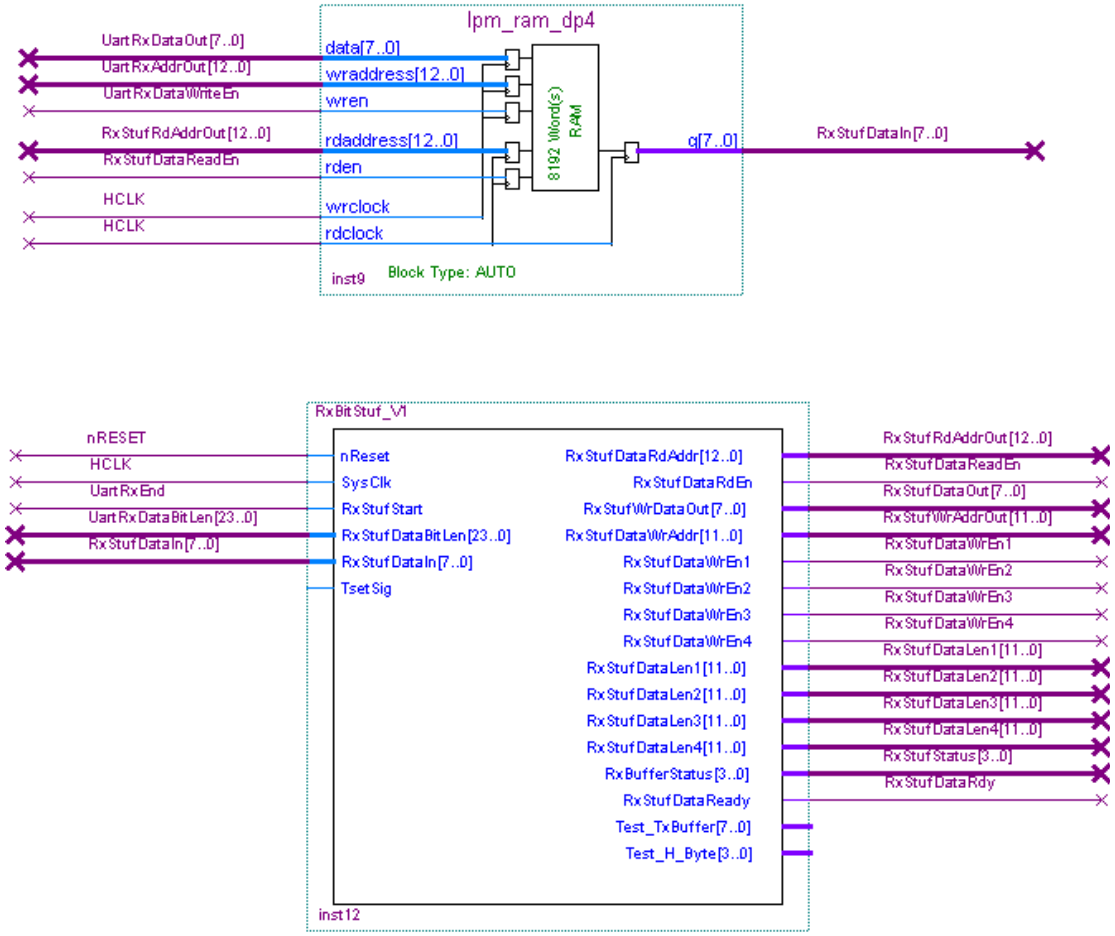
- Tx Bit Stuffing 블록



<그림 3-5-3-57> TX Bit Stuffing 블록

비트 스터핑 블록은 프로세서블록으로부터 전송된 DPRAM으로부터 데이터를 읽어 플레그 바이트 0x7E를 삽입하며 데이터에 연속되어진 5개이상의 '1'에 대하여 스터핑을 수행한다. 4개의 DPRAM으로부터 데이터를 읽어 각각 플레그 바이트 삽입과 스터핑을 수행하여 하나의 DPRAM에 써넣어 모뎀인터페이스 블록으로 전달하며 이때 전송데이터의 Bit 수를 계산하여 삽입한다.

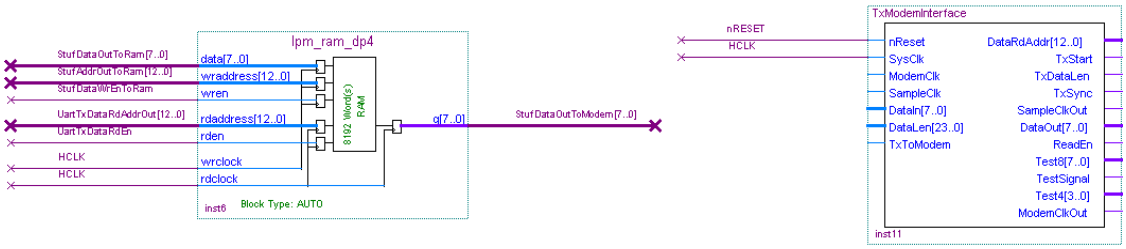
- Rx Bit Stuffing 블록



<그림 3-5-3-58> RX Bit Stuffing 블록

Rx 스터핑 블록은 모뎀인터페이스 블록으로부터 쓰여진 DPRAM으로부터 데이터를 읽어 Tx시 스터핑된 데이터를 원래대로 복원하며 플레그 바이트를 체크하여 각각의 블록으로 분리하여 4개의 DPRAM에 써넣어 프로세서 블록이 데이터를 수신할 수 있도록 한다.

- 모뎀 인터페이스 블록



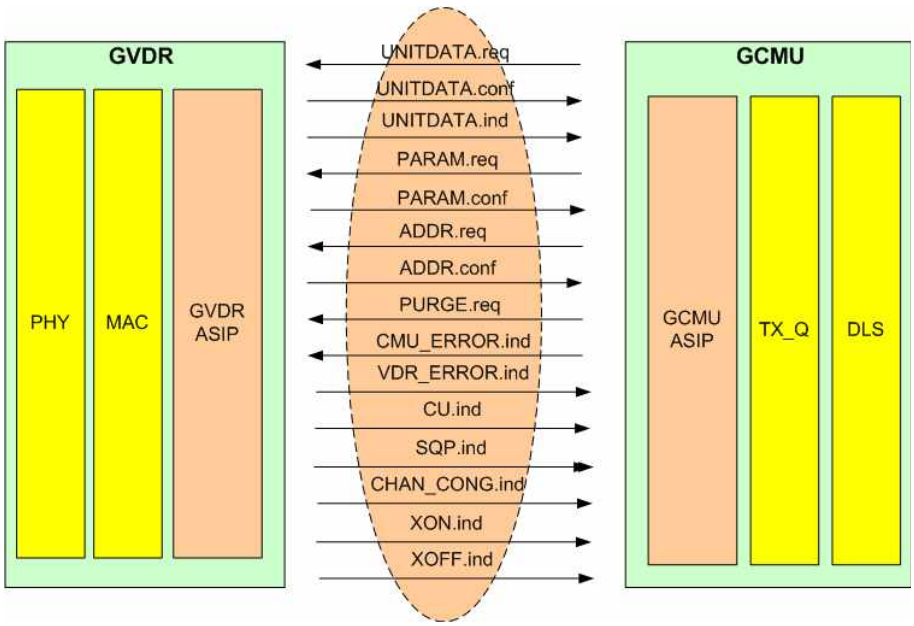
<그림 3-5-3-59> 모뎀 인터페이스 블록

모뎀 인터페이스 블록은 스터핑되어진 데이터를 Phy의 모뎀으로 전송하고 수신되어진 데이터를 Rx스터핑 블록으로 전달하는 역할을 수행한다. 모뎀과의 인터페이스는 데이터길이, 클럭, 샘플클럭, 데이터 등으로 인터페이스 된다.

③ 외부 인터페이스 설계

- CMU Interface

- <그림 3-5-3-60>은 GVDR과 GCMU사이에서 교환되는 명령과 데이터 전송을 위한 primitive를 나타내고 있다. GCMU의 DLS, TX_Queue와 GVDR의 MAC, PHY간의 프리미티브들과 대응되는 프리미티브를 블록 다이어그램으로 나타내었다.



<그림 3-5-3-60> GVDR과 GCMU사이의 Primitive Block Diagram

PARAM.req

PARAM.req

EGFI (0xF1)	ID (0x20)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	

- GCMU가 GVDR로 보내는 운영 인자값 메시지이다. 이 인자값에는 주소는 포함되어 있지 않고, 주파수와 MAC 동작시 필요한 작동 모드가 포함되어 있다.

UNITDATA.req

UNITDATA.req

EGFI (0xF1)	ID (0x21)	Length	
Seq	Data #1	Data #2	Data #3
Data #N ·····			

- GCMU가 GVDR에 GVLC 데이터를 보내기 위한 메시지이다.

ADDR.req

ADDR.req

EGFI (0xF1)	ID (0x22)	Length
S.Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		

- GCMU가 GVDR로 보내는 주소 스크린을 위해 GVDR이 사용하는 주소 운영 메시지이다.

CMU_ERROR.ind

CMU_ERROR.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x23)	Length
Error code	Error data	

- GCMU가 전송하는 프로토콜 오류를 나타내는 메시지이다. 프로토콜 에러는 아래 표에 명시하였다.

PARAM.conf

PARAM.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x50)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	

- GVDR이 보내는 메시지로 현재운용 인자값을 포함한다. GCMU가 보내는 PARAM.request에 대한 응답 메시지이다.

UNITDATA.ind

UNITDATA.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x51)	Length	
Frequency		Data #1	Data #2
Data #N ·····			

- GVDR이 GCMU로 보내는 AVLC 데이터를 포함한 메시지이다.

ADDR.conf

ADDR.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x52)	Length
S.Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		

- GVDR이 GCMU가 보낸 ADDR.request에 응답하여 보내는 것으로 DAS(Destination Address Set)에 저장된 주소를 포함한다.

VDR_ERROR.ind

VDR_ERROR.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x53)	Length
Error code	Error data	

- GVDR이 GCMU에게 전송하는 프로토콜 오류를 나타내는 메시지이다. 프로토콜 에러는 <표 3-5-3-16>에 명시하였다.

<표 3-5-3-16> GVDR과 GCMU간의 오류 메시지

Error Condition	Sender	Error Code	Error Data
Unspecified Error	CMU/VDR	0x00	Don't care
Unrecognized PID	CMU/VDR	0x01	Offending PID
BADDATA	CMU/VDR	0x02	Offending PID
VDR transmit buffer overflow	VDR	0x03	None
Out of sequence or unexpected primitive	CMU/VDR	0x04	Offending PID

SQP.ind

SQP.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x54)	Length
SQP	S.Addr	
	Frequency	

- GVDR이 수신한 데이터의 전체 프레임 FCS가 정상일 때 GCMU에게 보고하는 "QOS(Quality of Service)" 메시지이다.

CU.ind

CU.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x60)	Length
CU		

- GVDR이 CU(Channel Utilization: 채널 사용량) 파라미터를 GCMU로 보내는 메시지이다. CU의 값이 100(64h)이면 채널이 100% 사용되고 있다는 것을 나타낸다. CU.indication 메시지는 초당 1개씩 전송된다.

UNITDATA.conf

UNITDATA.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x56)	Length
Transmit Status	MAC delay	Seq

- GVDR이 GCMU로 보내는 메시지로서 전송된 프레임의 MAC Delay, 또는 프레임이 전송이 잘 되었는지의 확인응답이 포함된다. MAC Delay 시간은 송신버퍼에 진입하는 순간부터 전송이 완료된 시간까지이다. MAC Delay의 정확도는 2ms이며 최대값은 216 * 2 msec = 131초가 된다. sequence number는 UNITDATA.request에 포함된 sequence number를 복사한 값이며, 해당 메시지의 확인 응답이 된다. GCMU는 Transmit status 값이 '01' 일 때, MAC Delay 필드는 무시한다.

CHAN_CONG.ind

CHAN_CONG.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x61)	Length

- GVDR이 GCMU로 보내는 메시지로 RF 채널의 혼잡을 표시하는 메시지이다. RF 채널의 혼잡은 TM2 타이머가 만료될 때 감지된다. TM2 타이머는 송신버퍼로 데이터가 들어올 때 시작되고, 전송을 완료 했을 때 정지된다. 하지만 TM2 시간동안 데이터를 전송하지 못하면 TM2 타이머가 만료되고, GVDR은 RF 채널이 혼잡하다고 판단하고 CHAN_CONG.indication 메시지를 GCMU로 보낸다.

PURGE.req

PURGE.req

EGFI (0xF1)	ID (0x64)	Length

- GCMU가 GVDR의 송신버퍼를 비우도록 하는 명령어이다.

XON.ind

XON.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x62)	Length

- GVDR에서 더 이상 데이터를 수용할 수 없다는 의미이다.

XOFF.ind

XOFF.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x63)	Length

GVDR에서 데이터를 수용할 수 있다는 의미이다.

(6) 하드웨어 제작 결과

제작된 MAC 하드웨어의 제작 결과는 <그림 3-5-3-61>과 같다.

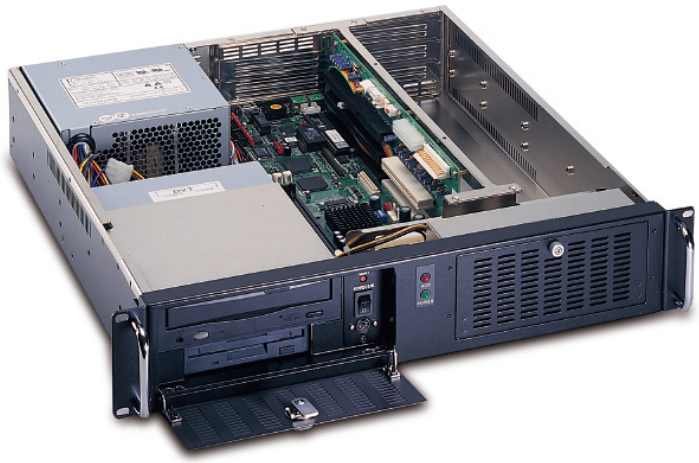


<그림 3-5-3-61> 제작된 MAC 하드웨어

나. 지상용 통신관리장치(GCMU)

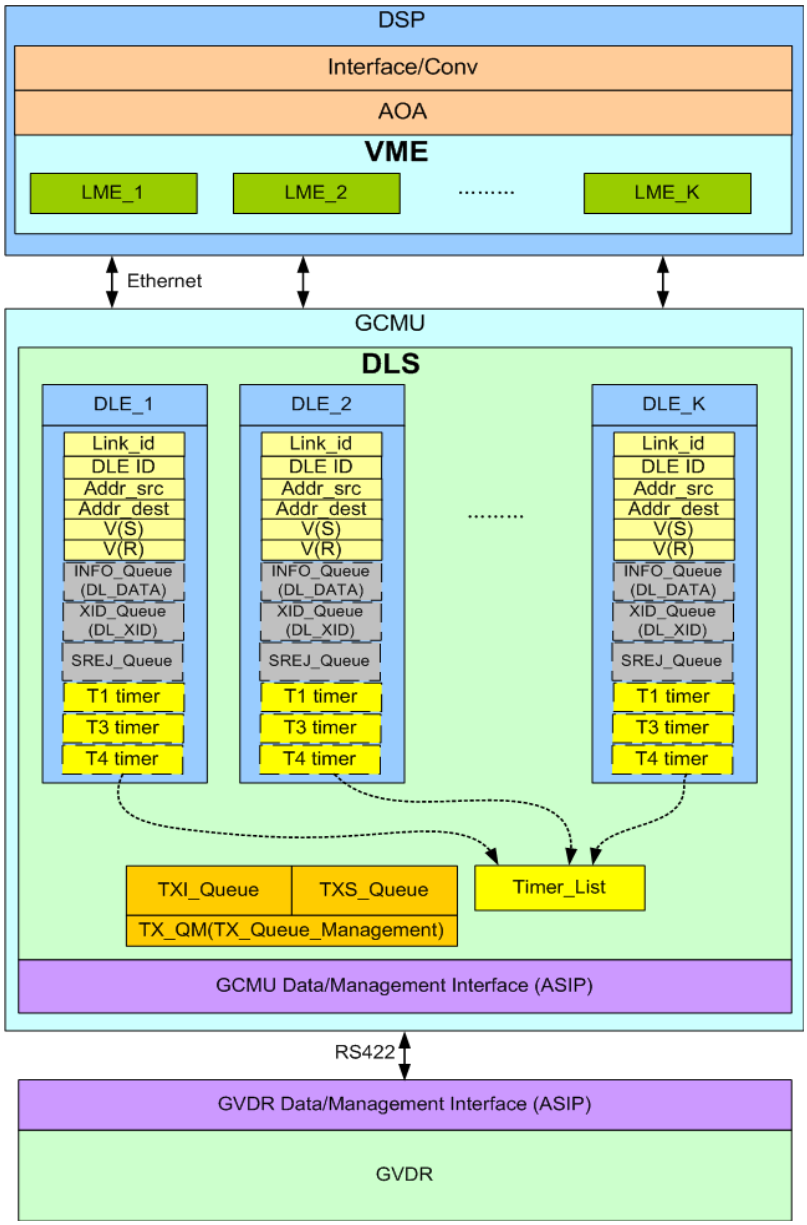
지상 통신 관리기(GCMU)는 지상국(GS)에 장착되어 데이터 통신과 관련하여 GVDR을 제어하고 링크 상에서의 데이터 관리하며 응용 소프트웨어와의 인터페이스를 제공하는 장비이다. 지상에 설치된 19인치 랙에 장착될 수 있도록 Rack mountable 산업용 컴퓨터로 구성되며 모든 기능은 리눅스 환경에서 수행되는 C 언어로 작성된 소프트웨어로 구성된다. 본 절에서는 GCMU의 제작에 대한 소프트웨

어 제작 내용과 단품 시험 결과에 대해 기술한다. GCMU의 하드웨어 구조는 <그림 3-5-3-62>와 같다.



<그림 3-5-3-62> GCMU 하드웨어 시스템 구성

GCMU는 DLS, TX_Queue, VDR Interface(ASIP), DSP Interface 기능이 포함된다. DLS는 connection-oriented 통신을 담당하는 여러개의 DLE와 connection-less통신을 담당하는 하나의 LLC로 구성된다. DLS(Data Link Service)는 HDLC 프로토콜에서 파생된 AVLC 프로토콜로 구성되어 있고, AVLC의 주된 기능은 프레임 교환, 프레임 프로세싱 그리고 에러 검출이다. LLC는 Broadcast 데이터와 XID 프레임 교환을 관리한다. DLS는 각 DLE로부터 또는 DSP로부터 발생되는 프레임을 TX_Queue를 통해 순차적으로 처리한다. ASIP(AVLC Simple Interface Protocol)는 데이터송수신장치(GVDR)와 통신제어장치(GCMU) 상호간의 통신을 위한 Data/Management Interface이다. DSP와의 물리적 인터페이스는 이더넷을 사용하고, VDR과의 물리적 인터페이스는 RS422을 사용한다. OS(Operation System)는 Linux Kernel 2.6을 사용한다. GCMU의 소프트웨어 설계 구조는 <그림 3-5-3-63>과 같다.



<그림 3-5-3-63> GCMU 소프트웨어 설계 구조

DLS는 모든 항공기와의 각 연결 당 DLE를 생성하고, 각 DLE마다 각각 하나씩의 INFO_Queue를 갖는다. 그 첫 번째 이유는 DLE가 block상태이거나, SRM, FRM상태일 때 TX_Queue에 전송하지 않고 INFO Queue에 저장해야 하기 때문이다. 또한 두 번째 이유는 LME로부터 DL_DATA.req를 받았을 때 데이터를 저장하여 T1 타이머가 만료하기 전에 상대방으로부터 송신한 데이터에 대한 응답을 받지 못했을 경우 재전송해야 하기 때문이다. 또한 T3만료 시 해당 XID 프레임에 대해 재전송을 하기 위해 XID_Queue를 갖는다. 순서에 맞지 않는 프레임 수신 시, 이를

폐기하지 않고 SREJ_Queue에 저장한 다음 순서에 맞게 프레임을 상위계층에 전송한다. TX_Queue는 모든 항공기에 대해 INFO Frame에 대한 TX_Queue인 TXI_Queue와 Supervisory Frame(RR, SREJ)과 Unnumbered Frame(XID, FRMR, DISC, DM, TEST)에 대한 TX_Queue인 TXS_Queue를 한 개씩 갖는다. LME로부터 데이터 전송 요청을 받으면 각 DLE의 INFO_Queue에 저장하고 DLS의 TXI_Queue에 전송한 후, Timer_List를 구성한다. 그리고 상대방으로부터 응답을 받으면 해당 데이터를 각 DLE의 INFO_Queue에서 삭제하고 해당 타이머를 Timer_List에서 삭제한다.

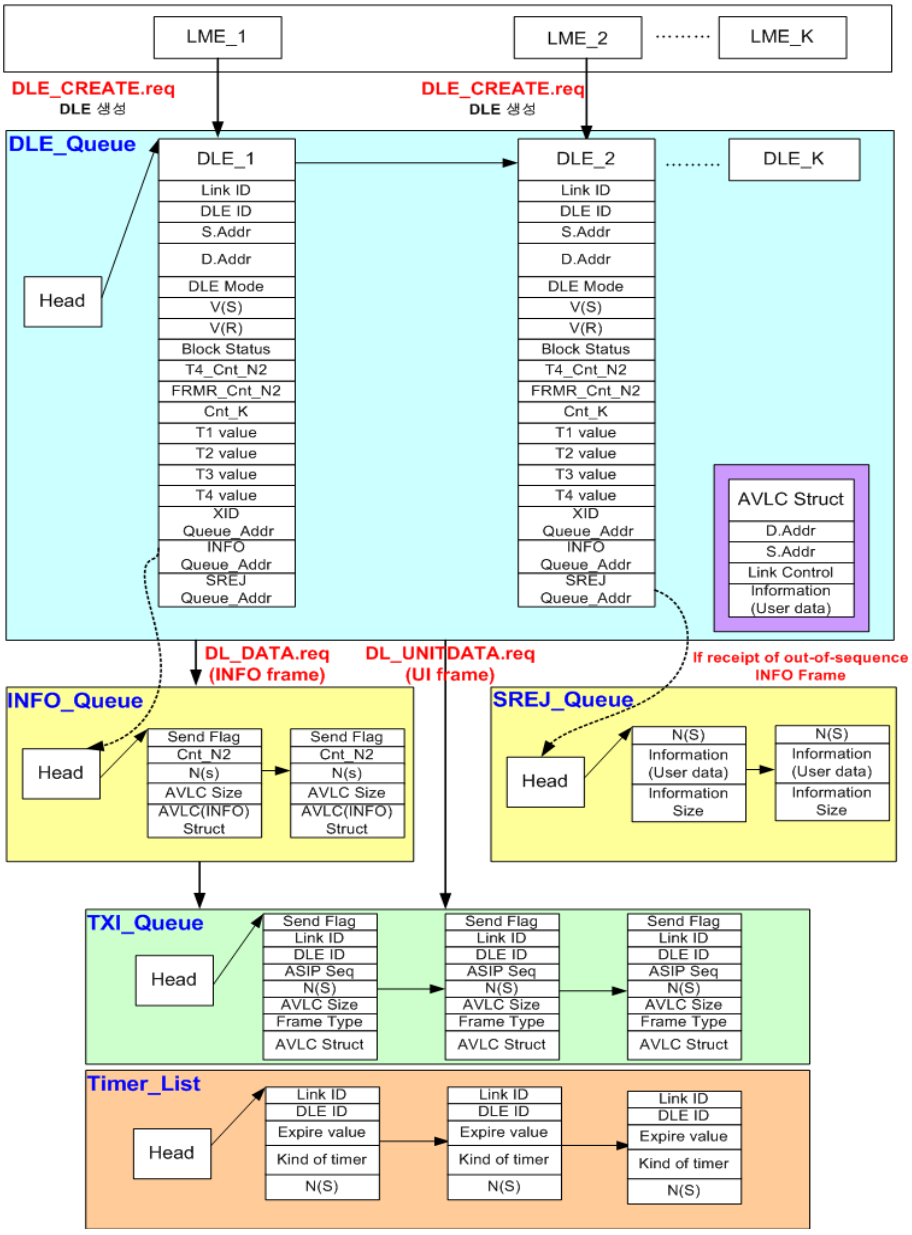
(1) TX_Queue Management

LME가 연결을 설정하게 되면 DLS에게 DLE_CREATE.req를 보내고 DLS는 각 연결 당 DLE를 생성하게 된다. 생성된 DLE는 DLE_Queue로 관리된다. DLE_Queue의 자료 구조는 다음과 같다.

- Linkd ID : 해당 링크 ID
- DLE ID : 해당 DLE ID
- S.Addr : 송신측 주소
- D.Addr : 수신측 주소
- DLE Mode : 해당 DLE의 State
- V(S) : 다음에 송신할 프레임 번호
- V(R) : 다음에 수신할 프레임 번호
- Block Status : 링크 사용 상태
- T4_Cnt_N2 : Timer T4에 대한 재전송 Counter
- FRMR_Cnt_N2 : FRMR Frame에 대한 재전송 Counter
- Cnt_K : ACK가 확인되기 전 전송 가능한 INFO Frame의 Counter
- T1, T2, T3, T4 value : 해당 DLE의 Timer T1, T2, T3, T4 값
- XID Queue_Addr : XID_Queue를 가리키는 포인터

- INFO Queue_Addr : INFO_Queue를 가리키는 포인터

- SREJ Queue_Addr : SREJ_Queue를 가리키는 포인터



<그림 3-5-3-64> DL_DATA.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조

DL_DATA.req 수신시의 TX_Queue Management 자료 구조는 <그림 3-5-3-64>와 같다. LME로부터 데이터를 송신한다는 DL_DATA.req Primitive를

받았다면, 먼저 status를 확인한다. status가 링크를 사용할 수 없는 BLOCK상태이면 해당 Frame를 버리고, status가 링크를 사용할 수 있는 UNBLOCK상태이면 프레임의 종류를 확인한다. 프레임의 종류가 INFO 프레임일 경우 INFO_Queue에 저장한다. INFO_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : INFO 프레임이 TXI_Queue에 저장된 유무를 나타내는 Flag
- Cnt_N2 : Timer T1 만료 시 해당 INFO Frame에 대한 재전송 Counter
- N(S) : INFO 프레임의 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- AVLC(INFO) Struct : INFO 프레임의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

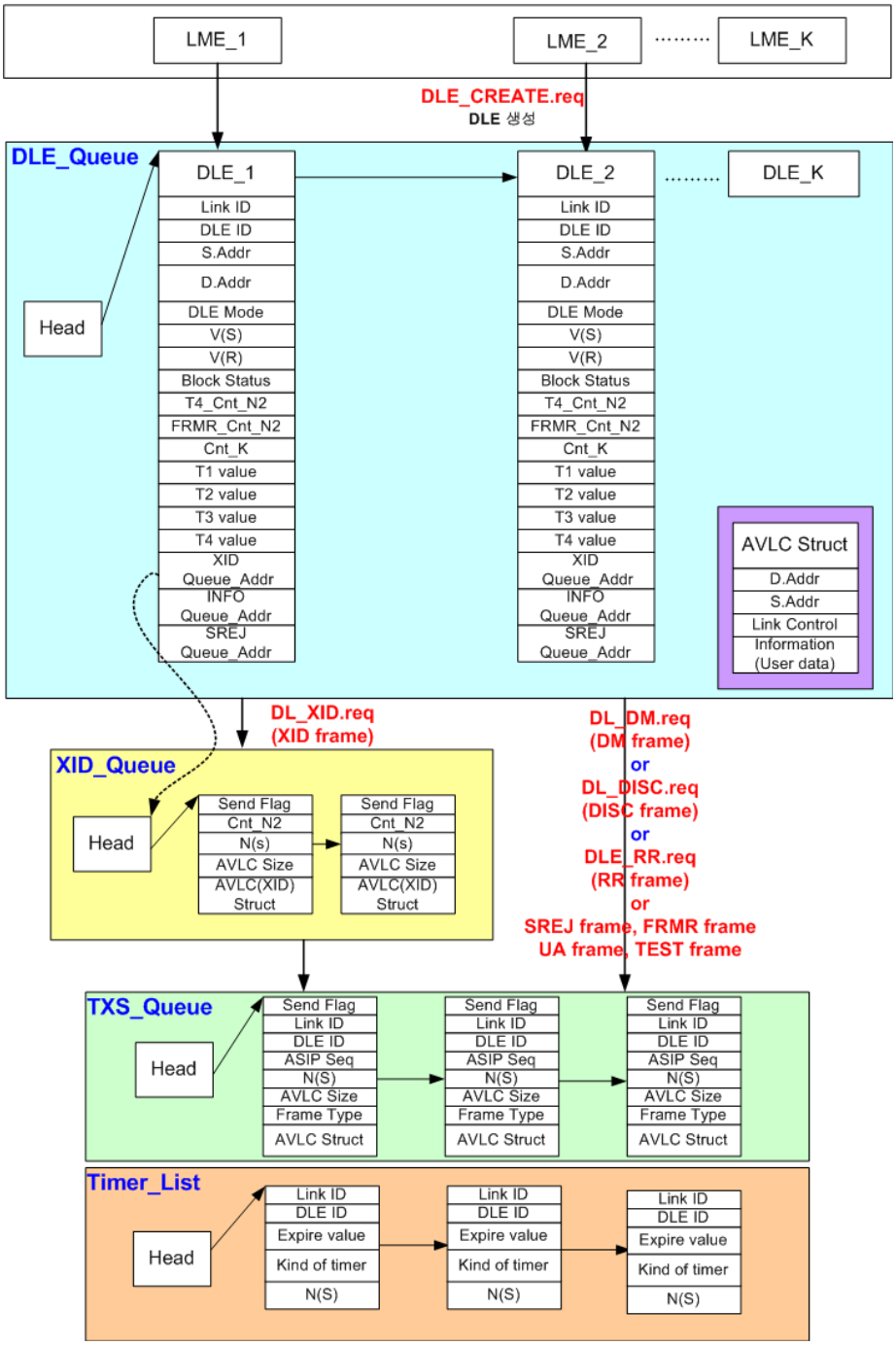
DLE의 상태가 ABM State이면, TX_Queue.req로 TXI_Queue에 데이터를 전송한다. TXI_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : INFO 프레임이 VDR로 전송된 유무를 나타내는 Flag
- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- ASIP Seq : ASIP 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- Frame Type : 해당 프레임의 타입
- AVLC Struct : 해당 프레임(INFO, UI)의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

프레임을 TXI_Queue로 전송할 때, Timer_List를 구성한다. 프레임의 종류가 INFO, RR(P=1), SREJ(P=1), FRMR이면 Timer_List를 구성하여 T1 타이머를 시작시키고, INFO_Queue의 Cnt_N2값과 DLE_Queue의 T4_Cnt_N2와 FRMR_Cnt_N2 값을 1로 설정한다. Timer T1이 만료될 때마다, 각 Counter의 값을 증가 시키고

해당 프레임을 재전송한다. Timer_List의 자료구조는 다음과 같다.

- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- Expire Value : 타임아웃 값
- Kind of timer : Timer 종류 (T1, T3, T4)
- N(S) : 프레임의 송신 순서 번호



<그림 3-5-3-65> DL_XID.req 수신 시 Tx_Queue Management 자료 구조

LME로부터 데이터를 송신한다는 DL_XID.req Primitive를 받았다면 프레임의 종류를 확인한다. XID 프레임일 경우 XID_Queue에 저장한다. XID_Queue의 자료 구조는 다음과 같다.

- Send Flag : XID Frmae이 TXS_Queue에 저장된 유무를 나타내는 Flag
- Cnt_N2 : Timer T3 만료 시 해당 XID Frame에 대한 재전송 Counter
- N(S) : XID 프레임의 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- AVLC(XID) Struct : XID 프레임의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

그리고 TX_Queue.req로 TXS_Queue에 데이터를 전송한다. TXS_Queue의 자료구조는 다음과 같다.

- Send Flag : XID 프레임이 VDR로 전송된 유무를 나타내는 Flag
- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- ASIP Seq : ASIP 송신 순서 번호
- AVLC Size : AVCL 프레임의 크기
- Frame Type : 해당 프레임의 타입
- AVLC Struct : 해당 프레임(Supervisory Frame, Unnumbered Frame)의 Format을 저장하고 있는 AVLC 구조체 정보

프레임을 TXI_Queue로 전송할 때, Timer_List를 구성한다. Timer_List의 자료구조는 다음과 같다.

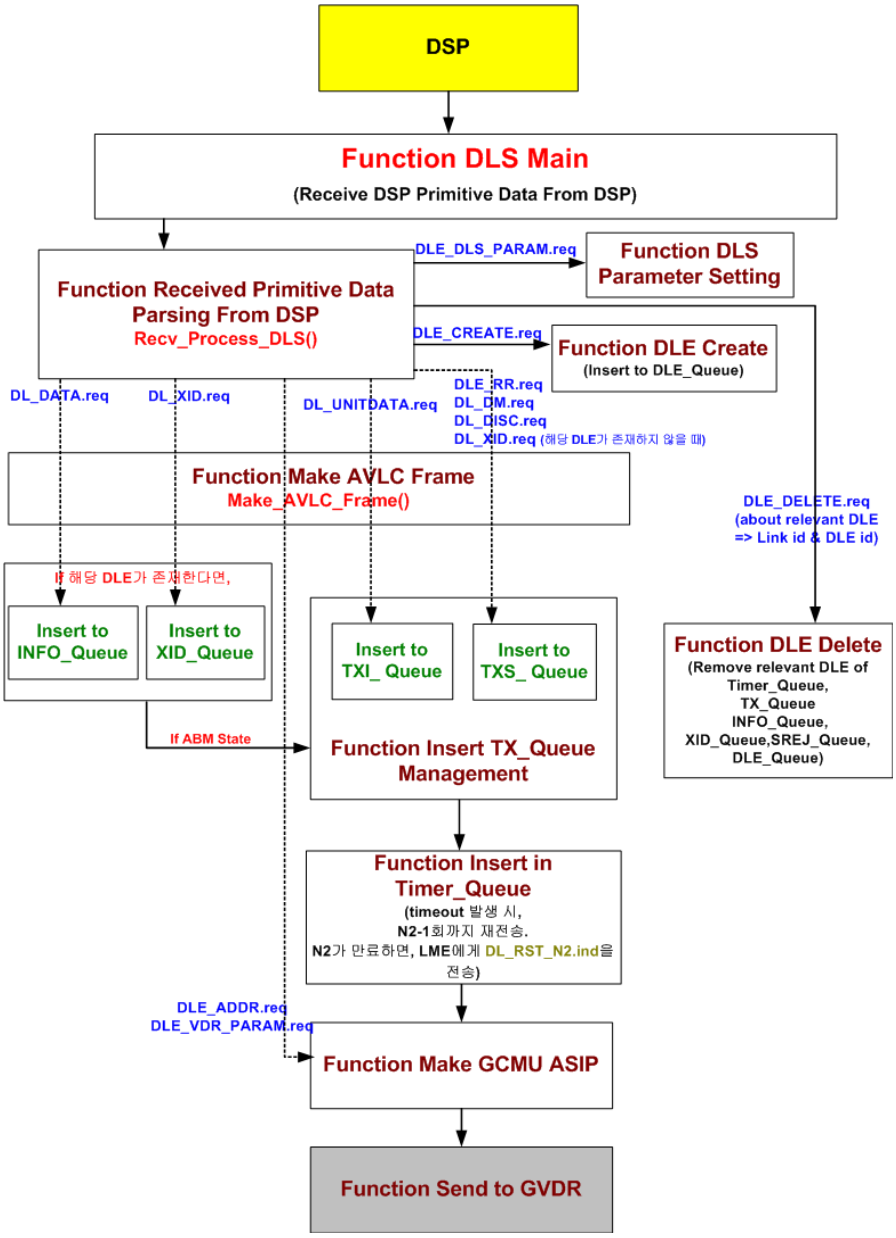
- Link ID, DLE ID : 프레임의 해당 링크 ID와 DLE ID
- Expire Value : 타임아웃 값
- Kind of timer : Timer 종류 (T1, T3, T4)
- N(S) : INFO 프레임의 송신 순서 번호

Timeout 발생 시 현재 시간을 알아내고 Timer_List를 Scan하여 현재시간이 Timeout Value보다 크거나 같다면, Timer_List의 Link ID와 DLE ID의 정보를 이용하여 DLE_Queue에서 해당 DLE를 찾는다. 그런 다음, Timer_List에서 타이머 종류를 알아낸다. 타이머 종류가 T1 Timer일 경우, 해당 DLE의 INFO_Queue를 Scan하여 Timer_List의 N(S)와 INFO_Queue의 N(S)가 같은 노드를 찾은 후 TXI_Queue에 저장한다. 이때, INFO_Queue의 Cnt_N2를 증가시키고, Timeout이 발생된 노드를 Timer_List에서 삭제한다. Cnt_N2가 Parameter N2를 초과하게 되면, DSP에게 DL_RST_N2.ind을 전달한다. TX_Queue는 TXI_Queue와 TXI_Queue로 구성되며, TXS_Queue가 TXI_Queue보다 높은 전송 우선순위를 갖기 때문에 MAC 버퍼가 비어있을 때 TXS_Queue에 프레임이 존재하는지를 먼저 확인해야 한다. DLE로부터 전송을 요청하는 TX_Queue.req Primitive를 받으면, 프레임을 확인하여 프레임이 INFO 또는 UI 프레임이면 TXI_Queue에 저장하고 Supervisory 프레임과 Unnumbered 프레임이면 TXS_Queue에 저장한다. 이때 RR, SREJ, FRMR, DM 프레임은 TXS_Queue에서 한 번만 저장되어야 하므로, TXS_Queue에 이미 해당 프레임중 하나가 저장되어 있는지를 확인해야 한다.

(2) DLS

(가) DLS 데이터 송신 기능

DLS는 사용자 데이터에 대한 AVLC 프레임의 생성과 전송, 재전송 기능을 주로 담당한다. <그림 3-5-3-66>은 DSP에서 수신된 데이터를 DLS가 GVDR로 전송하는 역할을 하는 송신 흐름 다이어그램이다.



<그림 3-5-3-66> Function Flow Diagram Send Received Data From DSP to GVDR

DLS Main Function은 아래와 같이 Select 구조로 구현되었다.

```
int Main()
{

    ……

    serial_fd = Open_Serialport(...);
    if((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0)
    {
        return FALSE;
    }

    ……

    FD_ZERO(&read_fdset);
    FD_SET(sockfd, &read_fdset);
    FD_SET(serial_fd, &read_fdset);

    while(1)
    {
        ret = select(……);

        if(ret == SELECT_TIMEOUT)
        {
            TX_Queue Polling(…);
        }
        if(FD_ISSET(sockfd, &read_fdset)          // DSP로부터의 읽기 감지
        {
            Socket_Read_Parsing(...);
            Recv_Process_DLS(...);
        }
        if(FD_ISSET(serial_fd, &read_fdset)       // VDR로부터의 읽기 감지
        {
            Serial_Read_Parsing(...);
            Recv_Process_CMU_ASIP(...);
        }
    }
}
```

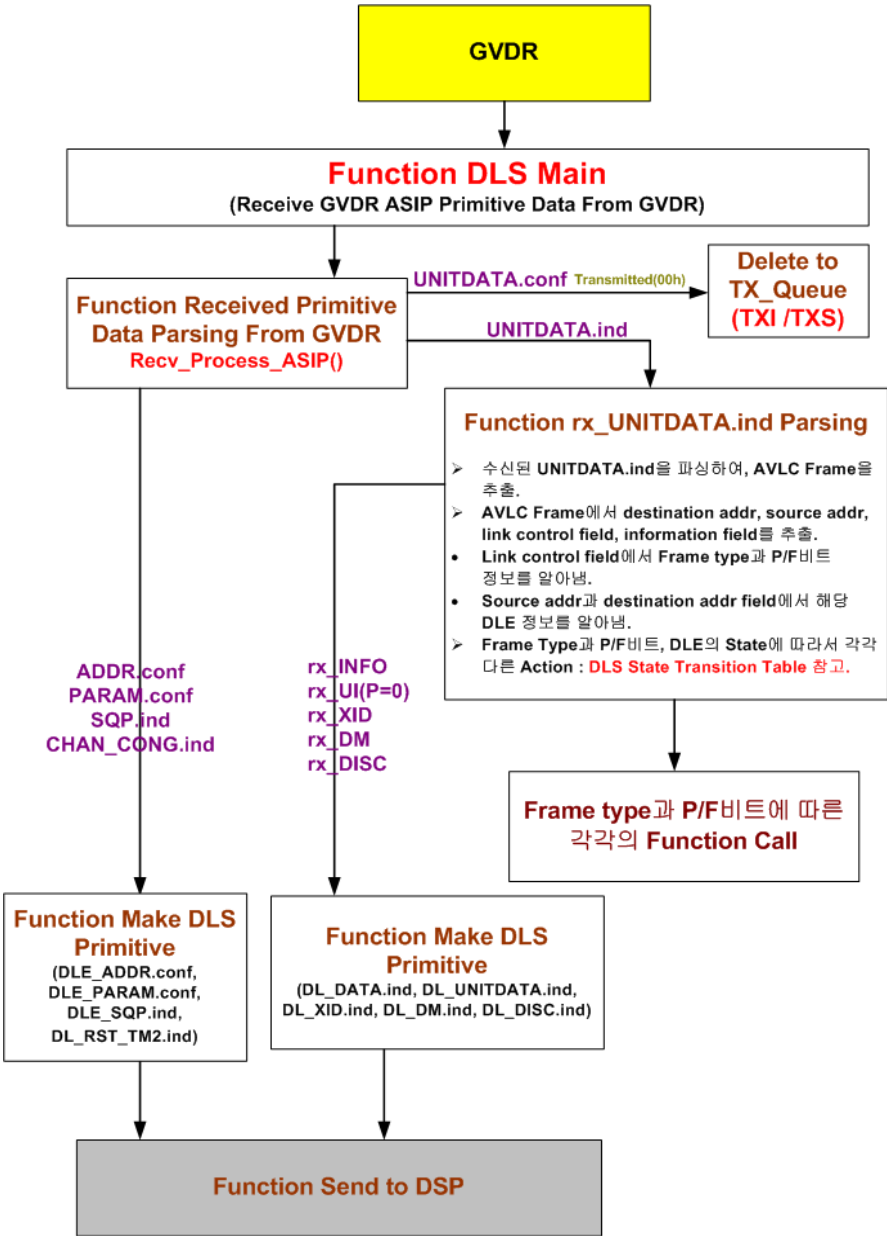
DSP로부터 데이터를 송신한다는 Primitive를 받으면, 수신된 Primitive를 파싱하는 함수를 호출한다. 여기서 파싱된 데이터를 가지고 AVLC Frame을 만드는 함수를 호출하고, Insert TX_Queue Management 함수를 호출한다.

```
Recv_Process_DLS(...)
{
        switch(pid)
        {
                case DL_DATA.req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_INFO_process(...);
                        break;
                case DL_UNITDATA.req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_UI_process(...);
                        break;
                case DL_XID.req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_XID_process(...);
                        break;
                case DL_DISC_req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_DISC_process(...);
                        break;
                case  DLE_CREATE_req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Insert_DLE_Queue(...);
                        Make_DLE_CREATE_ind(...);
                        break;
                case DLE_ADDR.req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_ADDR_req(...);
                        break;
                case DLE_VDR_PARAM.req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Make_PARAM.req(...);
                        break;
                case DLE_DLS_PARAM.req :
                                .........
                        Primitive_Parsing(...);
                        Insert_PARAM_Queue(...);
                        Make_DLE_DLS_PARAM_conf(...);
                        break;
                case DLE_RR.req :
                                .........
                        Make_AVLC_Frame(...);
                        TX_RR_process(...);
                        break;
                case DLE_DELETE.req :
                                .........
                        Delete_DLE(...);
                        break;
                case DL_BLOCK.req :
                        DLE_status_change(dle, BLOCK);
                        break;
                case DL_UNBLOCK.req :
                        DLE_status_change(dle, UNBLOCK);
                        break;
        }
}
```

DSP로부터 수신된 Primitive가 DL_DATA.req이면, 해당 DLE의 INFO_Queue에 INFO(AVLC) Frame을 저장하는 함수를 호출한다. 만약, DLE의 State가 ABM 상태이면, INFO(AVLC) Frame의 Link Control Field와 FCS를 계산하여

TXI_Queue에 저장하는 함수를 호출하고 T1 타이머에 대한 Timer List를 구성한다. T1 타이머 만료 시 Timer_List에서 타임아웃이 걸린 노드의 N(S)와 해당 DLE의 INFO_Queue를 Scan하여 N(S)가 같은 프레임을 찾아 재전송하기 위해 TXI_Queue에 저장한다. 재전송 후, INFO_Queue의 재전송 Counter인 N2값을 증가시킨 후, Timer_List에서 만료된 T1 Timer 노드를 삭제한다. DSP로부터 수신된 Primitive가 DL_XID.req이면, XID_Queue에 XID(AVLC) Frame을 저장하는 함수를 호출하고 TXS_Queue에 저장하는 함수를 호출한다. 그리고 T3 타이머에 대한 Timer List를 구성한다. T3타이머 만료 시 Timer_List에서 타임아웃이 걸린 노드의 N(S)와 해당 DLE의 XID_Queue를 Scan하여 N(S)가 같은 프레임을 찾아 재전송하기 위해 TXS_Queue에 저장한다. 재전송 후, XID_Queue의 재전송 Counter인 N2값을 증가시킨 후, Timer_List에서 만료된 T3 Timer 노드를 삭제한다. DSP로부터 수신된 Primitive가 DLE_ADDR.req이면, DSP로부터 수신한 ICAO 24bit 주소를 AVLC 주소로 변환해서 ADDR.req를 만들어 GVDR에게 전송하고, DLE_VDR_PARAM.req이면 PARAM.req를 만들어 GVDR에게 전송한다. DLE_DLS_PARAM.req 이면, DLE_DLS_PARAM.conf을 만들어 DSP에게 전송한다. DSP로부터 수신된 Primitive가 DLE_CREATE.req이면, DLE_Queue를 Scan하여 해당 DLE가 존재하는지 확인하여 해당 DLE가 존재하면 DSP에게 result 필드가 0인 DLE_CREATE.ind을 전송한다. 해당 DLE가 존재하지 않는다면 DLE 노드를 생성하여 DLE_Queue에 삽입한 후 DSP에게 result 필드가 1인 DLE_CREATE.ind을 전송한다. 그 외의 DSP로부터 수신된 Primitive에 대해서는 파싱된 데이터를 가지고 AVLC Frame을 만드는 함수를 호출하고, TXI_Queue나 TXS_Queue에 저장한다. TXS_Queue가 TXI_Queue 보다 높은 전송 우선순위를 갖기 때문에 만약, TXS_Queue에 프레임이 존재한다면 ASIP Primitive(UNITDATA.req)를 만들고 GVDR로 전송한다. TXS_Queue가 비워졌다면 TXI_Queue에 있는 프레임에 대해 ASIP Primitive(UNITDATA.req)를 만들고 GVDR로 전송한다. UNITDATAreq를 GVDR로 전송 시 TXS_Queue에 대한 순서번호인 SQ_SN과 TXI_Queue에 순서번호인 IQ_SN를 설정하고 하나씩 증가한다.

(나) DLS 데이터 수신 기능



<그림 3-5-3-67> Function Flow Diagram Send Receive Data From GVDR to DSP

위의 그림의 Function 블록은 GVDR에서 수신된 데이터를 DLS가 DSP로 전송하는 역할을 하는 수신 흐름 다이어그램이다. GVDR로부터 GVDR ASIP Primitive를 받으면, 수신된 Primitive를 파싱하는 함수를 호출한다. GVDR로부터 수신된 Primitive가 ADDR.conf, PARAM.conf, SQP.ind, CHAN_CONG.ind이면, 파싱된 데이터를 가지고 DLS Primitive를 만드는 함수를 호출한다. ADDR.conf는 Source Addr, Destination Addr, Multi Addr를 인자로 DLS Primitive(DLE_ADDR.conf)를

만드는 함수를 호출한다. PARAM.conf는 Frequency, TM1, TM2, M1, P를 인자로 DLS Primitive(DLE_PARAM.conf)를 만드는 함수를 호출한다. SQP.ind는 SQP, Source Addr, Frequency를 파싱해서 DLS Primitive(DLE_SQP.ind)를 만드는 함수를 호출한다. CHAN_CONG.ind는 DLS Primitive(DL_RST_TM2.ind)를 만드는 함수를 호출한다. 이 함수에서 만들어진 DLS Primitive(DLE_ADDR.conf, DLE_PARAM.conf, DLE_SQP.ind, DL_RST_N2.ind)를 DSP에게 전송한다. GVDR로부터 수신된 Primitive가 UNITDATA.conf이면, Sequence number를 인자로 delete TX_Queue Management 함수를 호출한다. UNITDATA.conf의 5번째 Octet의 Transmit Status값이 transmitted(00h)이면, Sequence number에 해당하는 노드를 TXI_Queue나 TXS_Queue에서 찾아 삭제한다. discarded(01h)이면, Sequence number에 해당하는 노드를 TXI_Queue나 TXS_Queue에서 찾아 삭제하지 않고 Sequence number에 해당하는 삭제된 프레임을 다시 TXI_Queue나 TXS_Queue에 저장한다. GVDR로부터 수신된 Primitive가 UNITDATA.ind이면, Userdata(AVLC frame)의 Destination Addr를 파싱해서 내 주소로 전달된 것이 맞는지 확인하고 FCS와 Frame Type을 확인한다. 그리고 DLE_Queue에서 Source Addr와 Destination Addr에 해당하는 DLE 노드를 찾는다. Link Control Field에서 Frame Type과 P/F비트 정보를 알아내서, DLE State에 따라서 각각의 해당하는 함수를 호출한다. 해당 DLE 즉 Link ID를 찾지 못하면, ADM State이므로 이에 해당하는 Action을 한다. Link ID가 있다면 ABM, SRM, FRM State이므로 이에 해당하는 Action을 한다.

```
Rx_Process_UNITDATA.ind(...)
{
        Primitive_Passing(...);
        switch(frame_type)
        {
                case INFO_FRAME :
                        RX_INFO_process(...);
                        break;
                case SREJ_FRAME :
                        if(PF_flag)
                           RX_F_bit_SREJ_process(...);
                        else
                           RX_P_bit_SREj_process(...);
                        break;
                case RR_FRAME :
                        if(PF_flag)
                           RX_F_bit_RR_process(...);
                        else
                           RX_P_bit_RR_process(...);
                        break;
                case DM_FRAME :
                        if(info_field_len!=0 && pdle != NULL)
                        {
                           RX_illegal_frame_process(...);
                        }
                        else
                        {
                           RX_DM_process(...);
                        }
                        break;
                case UA_FRAME :
                        if(pdle == NULL)
                        {
                           Make_AVLC_Frame(...);
                           TX_DM_process(...);
                        }
                        if(PF_flag)
                        {
                           RX_F_bit_UA_process(...);
                        }
                        else
                        {
                           RX_P_bit_UA_process(…);
                        }
                        break;

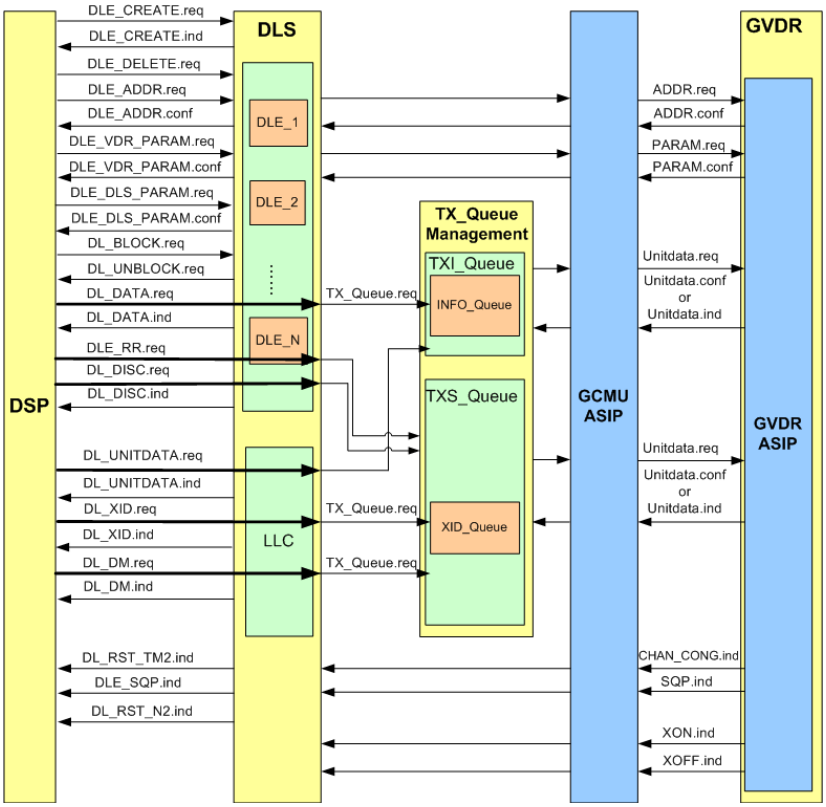
                        ……
                        ……
                        ……
                        ……
        }
}
```

각 Frame Type과 DLE State에 따른 Action 부록 1의 상태천이표를 참고하면 된다.

다. 외부 인터페이스 설계

(1) DSP 인터페이스 설계

(가) 프리미티브 블록 다이어그램 (Primitive Block Diagram)



<그림 3-5-3-68> DLS와 DSP사이의 Primitive Block Diagram

위의 그림은 DLS와 DSP의 LME사이에서 교환되는 명령과 데이터 전송을 위한 primitive를 나타내고 있다.

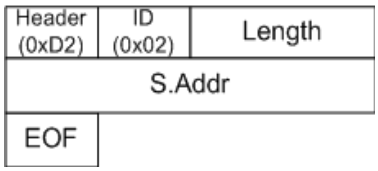
(나) 프리미티브 포맷 정의 (Primitive Frame Format Define)

DL_RST_N2.ind

Header (0xD2)	ID (0x01)	Length
Link ID	S.Addr	
	D.Addr	
	EOF	

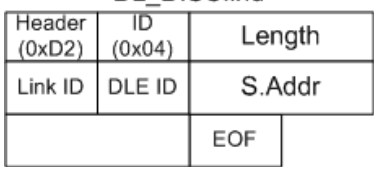
N2 만료를 알림 (상대가 응답이 없음)

DL_RST_TM2.ind



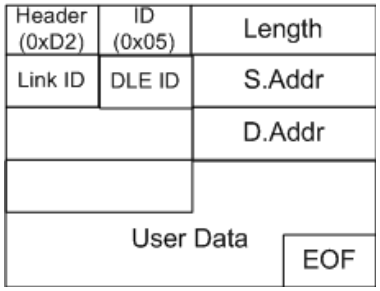
TM2 만료를 알림 (Channel Congestion)

DL_DISC.ind



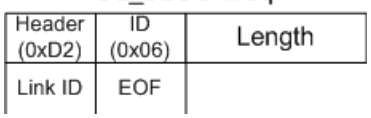
LME에게 링크가 종료되었음을 알림

DL_DATA.ind



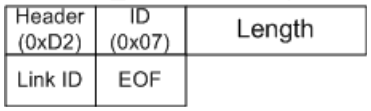
데이터 수신을 알림

DL_BLOCK.req



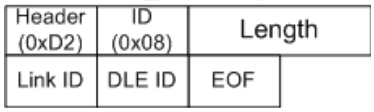
링크 사용중단을 요청

DL_UNBLOCK.req



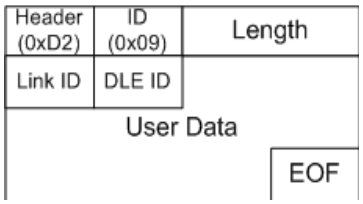
링크가 복구되어 사용가능함을 알림

DL_DISC.req



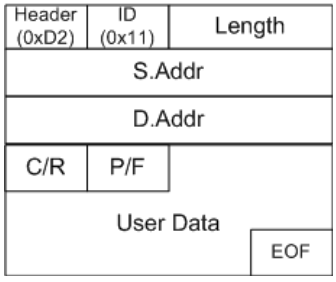
LME가 DLS에 링크 종료를 명령함 (DLS는 해당 링크를 즉시 종료함)

DL_DATA.req



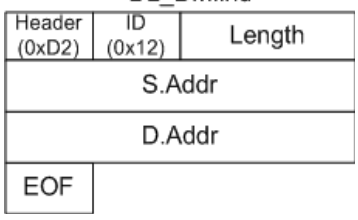
데이터 송신을 요청

DL_XID.ind



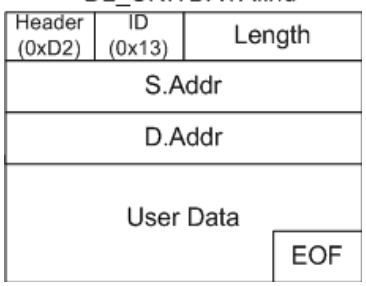
XID 프레임 수신을 알림

DL_DM.ind



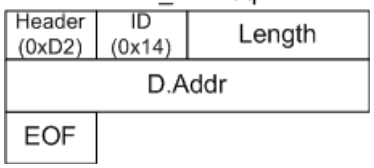
DM 프레임 수신을 알림

DL_UNITDATA.ind



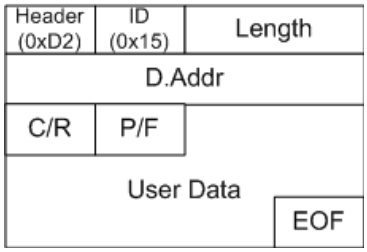
Broadcast 데이터 수신을 알림

DL_DM.req



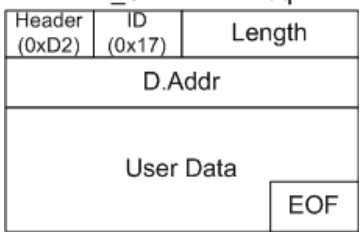
DM 프레임 송신을 요청

DL_XID.req



XID 프레임 송신을 요청

DL_UNITDATA.req



Broadcast 데이터 송신을 요청

DLE_CREATE.req

Header (0xD2)	ID (0x21)	Length
Link ID	S.Addr	
	D.Addr	
	A/G	EOF

LME가 DLE 생성을 요청

DLE_CREATE.ind

Header (0xD2)	ID (0x22)	Length	
Link ID	DLE ID	S.Addr	
		Result	EOF

DLE 생성 결과를 LME에게 알림

DLE_RR.req

Header (0xD2)	ID (0x23)	Length
Link ID	Seq	EOF

LME가 DLE에게 RR을 보내도록 요청

DLE_PARAM.req

Header (0xD2)	ID (0x24)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	EOF

LME가 DLE에게 VDR의 파라미터를 변경하도록 요청

DLE_VDR_PARAM.conf

Header (0xD2)	ID (0x25)	Length	
S.Addr			
Frequency		TM1	TM2
M1		p	EOF

DLE가 LME에게 VDR의 파라미터가 변경된 결과를 알림

DLE_DLS_PARAM.req

Header (0xD2)	ID (0x2A)	Length	
Link ID	DLE ID	N1-Downlink	
N1-Uplink		K-down	K-up
T1 Downlink(8 Byte)			
T2		N2	T4
	T3 min		A/G
EOF			

LME가 DLE에게 DLS의 파라미터를 변경하도록 요청

DLE_DLS_PARAM.conf

Header (0xD2)	ID (0x2B)	Length	
S.Addr			
Link ID	DLE ID	N1-Downlink	
N1-Uplink		K-down	K-up
T1 Downlink(8 Byte)			
T2		N2	T4
	T3 min		A/G
EOF			

DLE가 LME에게 DLS의 파라미터가 변경된 결과를 알림

DLE_ADDR.req

Header (0xD2)	ID (0x26)	Length
S.Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

LME가 DLE에게 주소를 변경하도록 요청

DLE_ADDR.conf

Header (0xD2)	ID (0x27)	Length
S.Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

DLE가 LME에게 주소가 변경된 결과를 알림

DLE_SQP.ind

Header (0xD2)	ID (0x28)	Length
SQP	S.Addr	
	Frequency	EOF

DLE가 LME에게 SQP를 알림

DLE_CREATE.req

Header (0xD2)	ID (0x21)	Length
Link ID	DLE ID	S.Addr
		D.Addr
	A/G	EOF

LME가 DLE에게 DLE 삭제를 요청

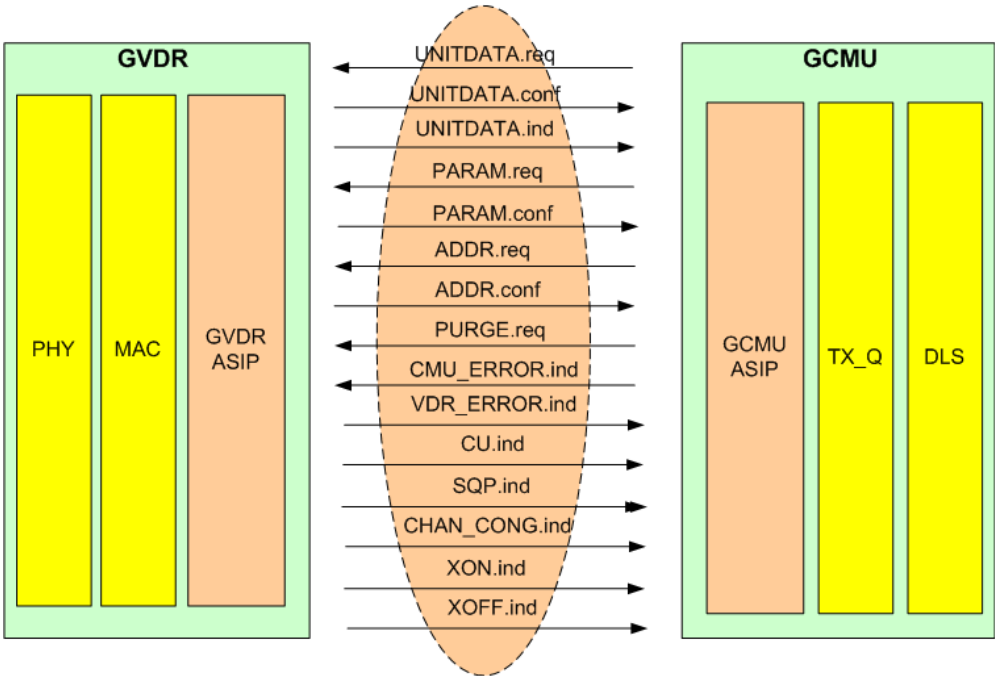
DLE_CREATE.ind

Header (0xD2)	ID (0x22)	Length
Link ID	DLE ID	S.Addr
	Result	EOF

LME가 DLE에게 DLE 삭제 결과를 알림

(2) GVDR 인터페이스 설계

(가) 프리미티브 블록 다이어그램 (Primitive Block Diagram)



<그림 3-5-3-69> GVDR과 GCMU사이의 Primitive Block Diagram

위의 그림은 GVDR과 GCMU사이에서 교환되는 명령과 데이터 전송을 위한 primitive를 나타내고 있다. GCMU의 DLS, TX_Queue와 GVDR의 MAC, PHY간의 프리미티브들과 대응되는 프리미티브를 블록 다이어그램으로 나타내었다.

(나) 프리미티브 포맷 정의 (Primitive Frame Format Define)

PARAM.req

EGFI (0xF1)	ID (0x20)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	EOF

GCMU가 GVDR로 보내는 운영 인자값 메시지이다. 이 인자값에는 주소는 포함되어 있지 않고, 주파수와 MAC 동작시 필요한 작동 모드가 포함되어 있다.

UNITDATA.req

EGFI (0xF1)	ID (0x21)	Length	
Seq	Data #1	Data #2	Data #3
Data #N ·····			
EOF			

GCMU가 GVDR에 AVLC 데이터를 보내기 위한 메시지이다.

ADDR.req

EGFI (0xF1)	ID (0x22)	Length
S.Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

GCMU가 GVDR로 보내는 주소 스크린을 위해 GVDR이 사용하는 주소 운영 메시지이다.

CMU_ERROR.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x23)	Length
Error code	Error data	EOF

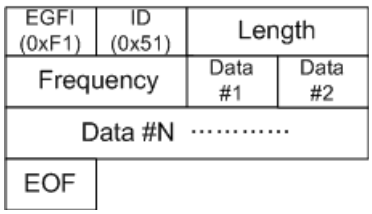
GCMU가 전송하는 프로토콜 오류를 나타내는 메시지이다. 프로토콜 에러는 아래 표에 명시하였다.

PARAM.conf

EGFI (0xF1)	ID (0x50)	Length	
Frequency		TM1	TM2
M1		p	EOF

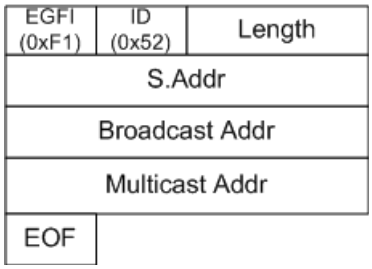
GVDR이 보내는 메시지로 현재운용 인자값을 포함한다. GCMU가 보내는 PARAM.request에 대한 응답 메시지이다.

UNITDATA.ind



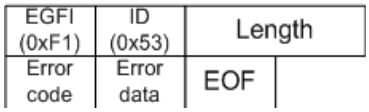
GVDR이 GCMU로 보내는 AVLC 데이터를 포함한 메시지이다.

ADDR.conf



GVDR이 GCMU가 보낸 ADDR.request에 응답하여 보내는 것으로 DAS(Destination Address Set)에 저장된 주소를 포함한다.

VDR_ERROR.ind

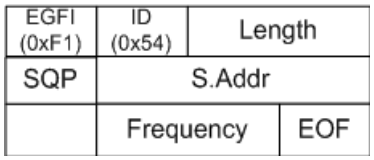


GVDR이 GCMU에게 전송하는 프로토콜 오류를 나타내는 메시지이다. 프로토콜 에러는 <표 3-5-3-17>에 명시하였다.

<표 3-5-3-17> GVDR이 GCMU에 전송하는 프로토콜 오류 메시지

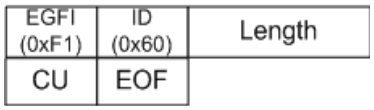
Error Condition	Sender	Error Code	Error Data
Unspecified Error	CMU/VDR	0x00	Don't care
Unrecognized PID	CMU/VDR	0x01	Offending PID
BADDATA	CMU/VDR	0x02	Offending PID
VDR transmit buffer overflow	VDR	0x03	None
Out of sequence or unexpected primitive	CMU/VDR	0x04	Offending PID

SQP.ind



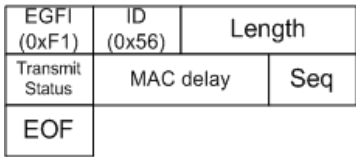
GVDR이 수신한 데이터의 전체 프레임 FCS가 정상일 때 GCMU에게 보고하는 "QOS(Quality of Service)" 메시지이다.

CU.ind



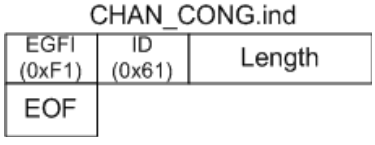
GVDR이 CU(Channel Utilization: 채널 사용량) 파라미터를 GCMU로 보내는 메시지이다. CU의 값이 100(64h)이면 채널이 100% 사용되고 있다는 것을 나타낸다. CU.indication 메시지는 초당 1개씩 전송된다.

UNITDATA.conf



GVDR이 GCMU로 보내는 메시지로서 전송된 프레임의 MAC Delay, 또는 프레임이 전송이 잘 되었는지의 확인응답이 포함된다. MAC Delay 시간은 송신버퍼에 진입하는 순간부터 전송이 완료된 시간까지이다. MAC Delay의 정확도는 2ms이며 최대값은 216 * 2 msec = 131초가 된다. sequence number는 UNITDATA.request에 포함된 sequence number를 복사한 값이며, 해당 메시지의 확인 응답이 된다. GCMU는 Transmit status 값이 '01' 일 때, MAC Delay 필드는 무시한다.

CHAN_CONG.ind



GVDR이 GCMU로 보내는 메시지로 RF 채널의 혼잡을 표시하는 메시지이다.

RF 채널의 혼잡은 TM2 타이머가 만료될 때 감지된다. TM2 타이머는 송신버퍼로 데이터가 들어올 때 시작되고, 전송을 완료 했을 때 정지된다. 하지만 TM2 시간동안 데이터를 전송하지 못하면 TM2 타이머가 만료되고, GVDR은 RF 채널이 혼잡하다고 판단하고 CHAN_CONG.indication 메시지를 GCMU로 보낸다.

PURGE.req

EGFI (0xF1)	ID (0x64)	Length
EOF		

GCMU가 GVDR의 송신버퍼를 비우도록 하는 명령어이다.

XON.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x62)	Length
EOF		

GVDR에서 데이터를 수용할 수 있다는 의미이다.

XOFF.ind

EGFI (0xF1)	ID (0x63)	Length
EOF		

GVDR에서 더 이상 데이터를 수용할 수 없다는 의미이다.

라. 지상국 시험

단품시험은 지상용 VDR과 통신관리장치 성능검증에 대한 시험을 의미한다. 지상용 VDR은 DO-281 규격서에 근거한 시험절차에 따라 수행하였고, 이를 통해 확인된 결과가 규격서 요구사항과 만족하였다. 통신관리장치의 소프트웨어 성능 검증을 위한 요구조건은 RTCA DO-224B를 기준으로 하였으며, 각 항목별 시험 절차와 방법에 있어서는 RTCA DO-281A를 참고하여 설정하였다

(1) 지상용 VDR 시험

지상용 VDR 단품 시험은 물리계층과 매체접근제어(MAC)에 대한 연구계획서, DO-244B, ICAO기술문서의 요구조건 만족시키는지 확인하기 위하여 DO-281에 규

정된 시험절차서에 따라 시험을 수행하였다. 시험결과에 대해서 <표 3-7-2-18>과 같이 종합 정리하였으며, 여기서 보면 요구된 모든 규격을 만족시킴을 알 수 있다.

<표 3-7-2-18> 인터페이스 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
수신감도	FER : 0.16이하 @-98dBm	DO-281 2.4.4.1.1	FER = 0.001	만족
인전채널 제거	FER : 0.16이하 @-43dBm (at reference signal)	DO-281 2.4.4.1.2	FER = 0.001	만족
VHF 항공대역 안쪽의 신호제거	FER : 0.16이하@ -33dBm at CW and -87dBm at referece signal.	DO-281 2.4.4.1.3	FER = 0.001	만족
VHF 항공대역 밖의 신호제거	FER : 0.16이하 @-33dBm at 108 to 156MHz, -7dBm at 50kHz to 1215 MHz, -5dBm at 87.5 to 107.9MHz	DO-281 2.4.4.1.4	FER = 0.090 at 108 to 156MHz, at 50kHz to 1251MHz, at 87.5 to 107.9MHz	만족
입력신호의 다이나믹 범위	FER : 0.16@-7dBm	DO-281 2.4.4.1.5	FER = 0.001	만족
데이터의 클럿 옵셋에 따른 데이터 에러율	FER : 0.16 이하 @ -87dBm at symbol rate ±50ppm 일때	DO-281 2.4.4.1.6	시뮬레이션 검증	만족
주파수 옵셋에 따른 데이터 에러율	FER : 0.16 이하 @ -98dBm 신호 at Frequency Offset 957Hz.	DO-281 2.4.4.1.7	FER = 0.133	만족
위상 각속도	FER : 0.16 이하 @ -87dBm FM 변조(0.8Hz rate, 200Hz Dev)	DO-281 2.4.4.1.8	FER = 0.001	만족

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
Co-Channel 방해	FER : 0.16 이하 @ -87dBM 신호와 20dB 노이지 신호	DO-281 2.4.4.1.9	FER = 0.003	만족
스퓨리어스 방사	-64dBm 이하 @ 118~137MHz	DO-281 2.4.4.1.10	측정값 = -68dBm	만족
Band에 포함한 Inter-Modulation/Dessensitization	FER : 0.16이하 @ 혼변조상태일때	DO-281 2.4.4.1.11	FER = 0.001	만족
비트전송율	비트 전송률 = 31.5kbps ± 50ppm	DO-281 2.4.4.2.1	비트전송률 = 31.5kbps	만족
RF 출력전력	36.02dBm < RF 출력 < 43.97dBm	DO-281 2.4.4.2.2	RF 출력 = +42.6dBm	만족
심볼 배열에러	EVM : 6%이하임	DO-281 2.4.4.2.5	EVM = 3.65%	만족
인접채널전력	+2dBm 이하 @ 첫 번째 인접채널	DO-281 2.4.4.2.7	-36dBm	만족
3번째 인접채널 측정	-28dBm 이하 @ 3번째 인접채널(25kHz×3)	DO-281 2.4.4.2.7	-36dBm	만족
4번째 인접채널 측정	-38dBm 이하 @ 4번째 인접채널(25kHz×4)	DO-281 2.4.4.2.7	-40dBm	만족
VSWR	VSWR 2:1 이하	DO-281 2.4.4.2.9	VSWR = 1.5:1	만족
주파수 허용한계	2ppm 이하	DO-281 2.4.4.2.10	±1ppm	만족
튜닝시간	100ms 이하	DO-281 2.4.4.3.4	9ms	만족

(가) 수신감도 측정

○ 조건 : 수신감도 -98dBm에서 FER(Frame Error Rate)=0.16 을 만족해야 한다. 시험주파수는 118, 128, 137.975MHz 3가지 주파수를 이용한다.

○ 결과

주파수	기준치 FER=0.16	측정치 조건 FER=0.16	합격O/불합격X
118.000MHz	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	-98dBm	0.001	O

(나) 인접 채널 제거

○ 조건 : Reference Signal Level (-87dBm)보다 44dB 큰 신호가 인접채널에 인가될 때 FER=0.16을 만족하는지 확인한다.

○ 결과

주파수	주파수 (간섭신호)	신호크기(간섭신호) 간섭 VDL M2 신호	기준치 (FER=0.16)	측정치 (FER=0.16)	합격O/ 불량X
118.000MHz	118.050MHz	-43dBm	-87dBm	0.001	O
128.000MHz	128.050MHz	-43dBm	-87dBm	0.001	O
137.975MHz	137.925MHz	-43dBm	-87dBm	0.002	O

(다) VHF 항공 대역 안쪽의 신호 제거

○ 조건 : -33dBm의 CW(Continuous Wave) 간섭 신호와 -87dBm(Reference Signal Level)의 원하는 신호가 수신기로 입력될 때, 수신기는 BER or FER을 만족해야 한다.

○ 결과

주파수	주파수 (간섭신호)	신호크기(간섭신호) 간섭 CW 신호	기준치 (FER=0.16)	측정치 (FER=0.16)	합격O/ 불량X
118.000MHz	118.050MHz	-33dBm	-87dBm	0.001	O
128.000MHz	128.050MHz	-33dBm	-87dBm	0.001	O
137.975MHz	137.925MHz	-33dBm	-87dBm	0.001	O

(라) VHF 항공대역 밖의 신호 제거

○ 조건 : 수신기에 항공 대역 밖의 원하지 않는 특정한 신호와 원하는 신호가 인가되어도 BER=10^{-3} 또는 FER=0.16 조건을 만족해야 한다.

○ 결과

주파수	주파수 (간섭신호)	신호크기 간섭 CW 신호	기준치 (FER=0.16)	측정치 (FER=0.16)	합격O/ 불량X
128.000MHz	간섭신호 A	-33dBm	-87dBm	0.001	O
128.000MHz	간섭신호 B-1	-7dBm	-87dBm	0.1	
128.000MHz	간섭신호 B-2	-33dBm	-87dBm	0..001	O
128.000MHz	간섭신호 C	-5dBm	-87dBm	0.0008	O

(마) Desired Signal의 Dynamic Range

○ 조건 : 수신기는 최소 입력 신호 레벨과(-98dBm)에서 최대 입력 신호 레벨(-7dBm)까지 FER=0.16 조건을 만족해야 한다.

○ 결과

주파수	기준치 최대입력신호 (FER=0.16)	측정치 최대입력신호	기준치 최소입력신호 (FER=0.16)	측정치 최소입력신호	합격O /불량X
118.000MHz	-7dBm	0.001	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	-7dBm	0.001	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	-7dBm	0.001	-98dBm	0.001	O

(바) 데이터의 클럭 옵셋에 따른 데이터 에러율 검토(Symbol Rate Capture Range)

○ 조건 : 수신기는 수신신호가 -87dBm(reference signal level)에서 symbol rate가 ±50ppm의 off설정을 가질 때도 FER=0.16을 조건을 만족해야 한다.

○ 결과

주파수	Symbol Rate Offset	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	±50ppm	-87dBm	시뮬레이션검증	O
128.000MHz	±50ppm	-87dBm	시뮬레이션검증	O
137.975MHz	±50ppm	-87dBm	시뮬레이션검증	O

(사) 주파수 옵셋에 따른 데이터 에러율 검토 (Frequency Capture Range)

○ 조건 : 수신기는 아래에 정의된 최대 허용 주파수 off설정을 가지는 -98dBm (sensitivity level) 이상의 신호가 어느 채널에 동기되어 수신되더라도 lock을 유지하고 신호를 검출하는 능력을 가져야 한다.

○ 결과

주파수	Frequency Offset	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	±967Hz	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	±967Hz	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	±967Hz	-98dBm	0.001	O

(아) Phase Acceleration

○ 조건 : Phase Acceleration은 도플러 시나리오와 VDL 송신기의 잔류 주파수 변조 상황에서 주파수 변조를 진행하는 것과 관계가 있다. 도플러 시나리오 상황에서 주파수 변조의 결과는 low modulation rates와 low peak frequency deviations의 특징을 가진다. DO-224A에 도플러 시나리오 상황에서 VDL 송신기가 발생시키는 최대 phase accelerations 허용치를 명시되어 있다.

○ 결과

주파수	FM 변조	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	0.8Hz Rate, 200Hz Dev.	-98dBm	0.001	O
128.000MHz	0.8Hz Rate, 200Hz Dev.	-98dBm	0.001	O
137.975MHz	0.8Hz Rate, 200Hz Dev.	-98dBm	0.001	O

(자) Co-Channel 방해 (Co-Channel Interference)

○ 조건 : 수신기의 같은 채널로 Reference Signal Level(-87dBm)과 이 신호 레벨보다 20dB이하의 원하지 않는 신호가 입력되었을 때 BER=10-3을 만족하여야 한다.

○ 결과

주파수	간섭신호	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	-107dBm, 118MHz	-87dBm	0.003	O
128.000MHz	-107dBm, 128MHz	-87dBm	0.004	O
137.975MHz	-107dBm, 137.975MHz	-87dBm	0.002	O

(차) Spurious 방사 (Conducted Spurious Emission)

○ 조건 : 수신기의 입력임피던스와 같은 저항을 갖는 부하가 수신기 입력에 연결 될 때(안테나), 이 부하저항을 통해 방사되는 스퓨리어스는 50kHz~1215MHz 대역에서는 -57dBm을 초과할 수 없고 118~137MHz 범위에서는 -64dBm을 초과할 수 없다.

○ 결과

주파수	50kHz ~1215MHz	118 ~137MHz	측정치 50kHz ~1215MHz	측정치 118 ~137MHz	합격O/ 불량X
118.000MHz	-57dBm이하	-64dBm이하	-57dBm이하	-70dBm	O
128.000MHz	-57dBm이하	-64dBm이하	-57dBm이하	-71dBm	O
137.975MHz	-57dBm이하	-64dBm이하	-57dBm이하	-68dBm	O

(카) Band에 포함된 Inter-modulation/Desensitization (In-Band Intermodulation / Desensitization)

○ 조건 : 수신기는 두개의 간섭신호 1, 2와 원하는 신호(Desired Signal)의 입력단에 가할 때 Error Rate를 만족하여야 한다.

○ 결과

주파수	간섭신호1 (-32dBm)	간섭신호2 (-32dBM)	기준치 FER=0.16	측정치 FER	합격O/ 불량X
118.000MHz	117MHz	119MHz	-75dBm	0.001	O
128.000MHz	126MHz	130MHz	-75dBm	0.001	O
137.975MHz	88MHz	108MHz	-75dBm	0.001	O

(타) 비트 전송률 (Bit Rate)

○ 조건 : 비튼 전송률은 31.5kbps ± 50ppm의 특성을 갖어야 한다. 이때, 오실레이터의 안정도, 수명, 온도계수는 제조사로부터 제공받아 요구항목을 만족하는지 확인한다.

○ 결과

	D8PSK 변복조기	상하향 변환기	기준치	합격O/ 불량X
온도 계수	-40~+75℃	-40~+75℃	-40~+75℃	O
수명	±1ppm/1year	±1ppm/1year	±1ppm/1year	O
안정도	±1ppm	±1ppm	±1ppm	O
비트전송률	31.5kbps	31.5kbps	31.5kbps	O

(파) RF 출력 전력 (RF Output Power)

○ 조건 : 안테나 출력단에 측정되는 전력이며 Class 7의 경우 15Watt, Class 8의 경우 4Watt을 이상이어야 하며, 최대 25Watt 를 초과할 수 없다.

○ 결과

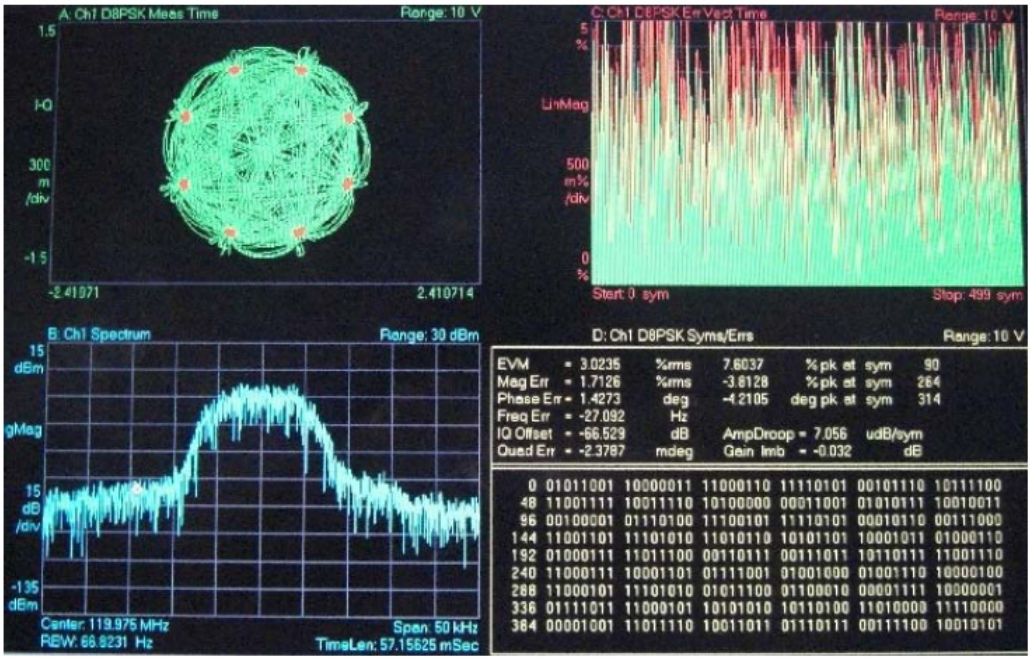
주파수	기준치 최소출력 (dBm)	기준치 최대출력 (dBm)	기준치 (dBm)	측정치 (dBm)	합격O/불량 X
118.000MHz	+36.02	+43.97	+41.76	+41.9	O
128.000MHz	+36.02	+43.97	+41.76	+42.0	O
137.975MHz	+36.02	+43.97	+41.76	+41.8	O

(하) Symbol 배열 에러 (Symbol Constellation Error)

○ 조건 : Reference bit sequence에 대하여 처음 100 Symbol을 측정할 때, EVM은 6%이하여야 한다.

○ 결과

주파수	Symbol 수	기준치 EVM	측정치 EVM (%)	합격O/불량X
118.000MHz	100 symbol	6% 이하	3.02	O
128.000MHz	100 symbol	6% 이하	2.9	O
137.975MHz	100 symbol	6% 이하	2.95	O



(거) Spurious 방사 (Spurious Emissions)

○ 조건 : 송신기가 "active"(송신모드) 이고 출력 임피던스에 맞추어 load resister로 termination되어 있을 때 송신기 출력 상에서 spurious 방사 제한 출력은 아래의 값을 초과하지 않는다. 하모닉 성분은 60dBc로 제한한다.

○ 결과

상태	주파수	기준치 규정 전력	대역폭	측정치 (dBm) 주파수1	합격/불량	측정치 (dBm) 주파수2	합격/불량	측정치 (dBm) 주파수3	합격/불량
송신 모드	9KHz~150KHz	-36dBm	1KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	150KHz~30MHz	-36dBm	10KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	30MHz~108MHz	-36dBm	100KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	108MHz~117.5MHz	-36dBm	100KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	117.5MHz~117.8MHz	-36dBm	10KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	137.175MHz~137.475MHz	-36dBm	10KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O
	137.475MHz~1GHz	-36dBm	100KHz	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O	-36dBm 이하	O

(너) 인접채널전력 (Adjacent Channel Power)

○ 조건 : 첫 번째 인첩 채널 중앙 16kHz의 대역에서 측정된 출력 전력은 송신기의 모든 운용 조건에서 -18dBm을 초과하지 않아야 한다. 첫 번째 인첩채널 중앙 25kHz의 대역에서 측정된 출력 전력은 모든 운용조건에서 +2dBm을 초과하지 않아야 한다.

○ 결과

주파수	기준치 1st 인접채널 전력 16kHz BW	측정치 1st 인접채널 전력 16kHz BW	기준치 2st 인접채널 전력 25kHz BW	측정치 1st 인접채널 전력 25kHz BW	합격O/ 불량X
118.000MHz	-18dBm	-35dBm	+2dBm	-22dBm	O
128.000MHz	-18dBm	-32dBm	+2dBm	-22dBm	O
137.975MHz	-18dBm	-36dBm	+2dBm	-21dBm	O

(더) 2, 3번째 인접 채널을 측정하는 방법 (Method of measurement for the second and third adjacent Channels)

○ 조건 : 두 번째와 세 번째 인접채널의 중앙에서 25KHz의 채널 대역에서 측정된 RF power는 모든 운용조건에서 -28dBm을 초과하지 않아야 한다.

○ 결과

주파수	기준치 세번째 인접채널 전력 25kHz BW	측정치 2번째 인접채널전력 25kHz BW	합격O/ 불량X	측정치 3번째 인접채널 전력 25kHz BW	합격O/ 불량X
118.000MHz	-28dBm	-41dBm	O	-44dBm	O
128.000MHz	-28dBm	-42dBm	O	-45dBm	O
137.975MHz	-28dBm	-39dBm	O	-43dBm	O

(러) 4번째 인접 채널을 측정하는 방법 (Method of measurement for the fourth adjacent Channels)

○ 조건 : 네번째 인접채널의 중앙에서 25KHz의 채널 대역에서 측정된 RF power는 모든 운용조건에서 -38dBm을 초과하지 않아야 한다. 네번째 이상의 인접채널의 경우 25kHz의 채널 대역폭을 가지고 측정된 RF신호는 모든 운용조건에서 8개 채널 옵셋당 5dB 정도씩 -53dBm 까지 줄어든다. 예를들어 8번째 인접채널은 -43dBm, 16번째 인접채널은 -48dBm, 32번째 인접채널은 -53dBm이다.

○ 결과

주파수	기준치 네번째 인접채널 전력 25kHz BW	측정치 4번째 인접채널 전력 25kHz BW	합격O/ 불량X
118.000MHz	-38dBm	-50dBm	O
128.000MHz	-38dBm	-52dBm	O
137.975MHz	-38dBm	-49dBm	O

(머) 부하의 VSWR(정재파비) 능력 (Load VSWR Capability)

○ 조건 : Power 출력은 Class7, Class8에서 명시한 RF 출력 전력에서 3dB 이상 줄어들면 안되고, 출력 정재파비는 2:1을 넘어서는 안된다.

○ 결과

주파수	기준치 출력 정재파비	측정치 출력 정재파비	합격O/불량X
118.000MHz	2:1 이하	2:1 이하	O
128.000MHz	2:1 이하	2:1 이하	O
137.975MHz	2:1 이하	2:1 이하	O

(버) 주파수 허용한계(Frequency Tolerance)

○ 조건 : 주파수 허용한계는 2ppm을 이고, 주파수 허용 한계는 오실레이터 제조사에서 안정도와 수명, 그리고 온도계수를 밝혀야한다.

○ 결론

	D8PSK 변복조기	상하향 변환기	기준치	합격O/불량X
온도 계수	-40 ~+75도	-40 ~+75도	-40 ~+75도	O
수명	±1ppm/1year	±1ppm/1year	±1ppm/1year	O
안정도	±1ppm	±1ppm	±1ppm	O

(서) 튜닝시간 (Tuning Time)

○ 조건 : 송수신기는 송신중이지 않을 때 송수신기 제어기로부터 주파수 변경 명령을 받았을 경우 117.975~136.975MHz대역의 25kHz의 760개의 어떠한 채널로라도 100ms이내에 동조되어야 한다.

○ 결과

주파수	기준치 (시간)	측정치 (시간)	합격O/불량X
모든 채널	100ms	9ms	O

(2) 지상용 통신관리장치 시험

GS 소프트웨어의 성능 검증을 위해 필요한 파라미터에 대한 시험절차 항목을 구성하고, 각 항목별 검증을 위한 시험방법을 설정하였다. 또한 시험 종류와 항목에 따른 요구조건 충실도 비교표를 구성하여, 항목별 시험방법을 도출하였다. 소프트웨어 성능 검증을 위한 요구조건은 RTCA DO-224B를 기준으로 하였으며, 각 항목별 시험 절차와 방법에 있어서는 RTCA DO-281A를 참고하여 설정하였다. 시험 항목 및 결과는 다음 표와 같다.

<표 3-5-3-19> 지상용 통신관리장치 시험항목 및 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
프레임 시퀀싱	중복된 프레임은 버리고 모든 프레임은 1회씩 순서대로 정상적으로 전달되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.1	중복된 프레임이 제거되었으며, 모든 프레임은 1회씩 순서대로 전달되었음.	합격
에러 검출	FCS가 맞지 않는 프레임을 제거하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.2	FCS가 맞지 않는 프레임은 제거되고, CRC 에러를 출력하였음.	합격
데이터 전송	INFO, UI, XID 프레임의 정보 필드가 전송되어야 한다. 2,048 크기의 옥텟은 분할없이 전송되어야 한다. INFO 프레임에는 오직 1개의 사용자 패킷만이 포함되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.5	INFO, UI, XID 프레임의 정보 필드를 확인하였다. 2,048 크기의 옥텟을 전송하여 분할없이 전송되었음. 연속된 짧은 데이터 항목들에 대해 각각의 INFO 프레임이 생성되었음.	합격
프레임 포맷	모든 AVLC 프레임 포맷의 주소 구조는 ISO 3309과 DO-224A를 따라야한다. SREJ, XID 프레임의 정보 필드는 DO-224A를 따르고, 그 외 프레임에 대해서는 ISO 4335를 따라야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.2.1 3.2.2.4.2.6	AVLC 프레임 구조를 분석하여 ISO 3309 및 RTCA DO-224A를 따름을 확인하였음. SREJ, XID 프레임 정보 필드가 DO-224A 규격을 따르고, 그 외에는 ISO 4335를 따름을 확인하였음.	합격
타이머 T1	INFO 프레임을 전송한 후 응답이 수신되지 않으면 T1 시간마다 프레임을 재전송하고, 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.1	INFO 프레임이 T1 시간간격에 따라 재전송되고, RR을 수신하면 재전송을 멈춤을 확인하였음.	합격

<표 3-5-3-18> 지상용 통신관리장치 시험항목 및 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
파라미터 T2	INFO 프레임을 수신하면 T2 시간내에 RR 또는 INFO 프레임으로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.2	INFO 프레임을 수신한 후 RR 프레임을 전송하는데 걸리는 시간이 T2 임을 확인함.	합격
타이머 T3	XID_CMD 프레임을 전송한 후 응답을 수신하지 않으면 T3 시간마다 해당 프레임을 재전송하여야 한다. 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.3	XID_CMD 프레임을 전송 한 후 상대방이 응답하지 않을 때, T3 시간간격에 따라 해당 프레임이 재전송되었고, 응답을 수신한 후 재전송을 중단하였음.	합격
타이머 T4	ABM, SRM, FRM 모드에 따라 수신되는 프레임이 없는 상태에서 T4 시간간격에 따라 지속적으로 더 이상 보낼 메시지가 있는지를 물어보는 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.4	T4 시간동안 수신된 프레임이 없을 경우, ABM 모드에서는 RR(P=1)을, SRM 모드에서는 SREJ(P=1), FRM 모드에서는 FRMR(P=1)을 전송함을 확인하였음.	합격
파라미터 N1	N1 파라미터가 정상적으로 설정되고, N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 전송되어야 한다. N1보다 큰 프레임을 수신하면 FRMR 프레임을 송신하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.5	지상에서 설정한 N1 파라미터 설정값이 항공기 시스템에 적용됨을 확인함. N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 처리되지만 N1 보다 큰 프레임은 처리되지 않고, FRM 모드에서 FRMR 프레임이 전송되었음	합격
카운터 N2	T1, T3 타이머에 따른 프레임의 재전송에 있어 가능한 총 전송횟수는 N2회여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.6	T1, T3 타이머에 의한 재전송이 총 N2-1회 이루어져, 총 전송횟수는 N2회임을 확인함.	합격
파라미터 k	응답 없이 최대 전송 가능한 프레임의 개수는 k 개여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.7	원격 응답이 없는 상황에서 k 개의 프레임까지 전송될 수 있음을 확인함.	합격

<표 3-5-3-18> 지상용 통신관리장치 시험항목 및 시험결과 (계속)

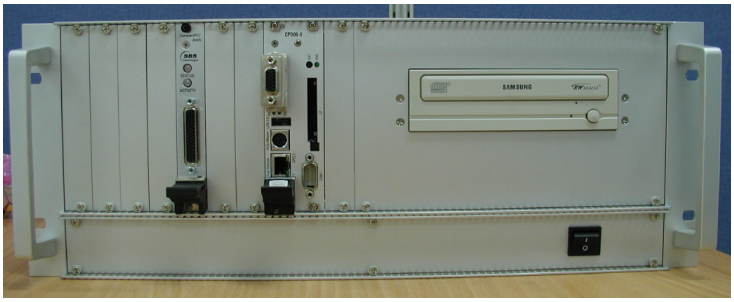
시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
DISC 프레임	DISC를 송수신하는 시스템은 현재 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.1	DISC를 송수신하면 현재 링크를 종료함을 확인하였고, 항공기는 새로운 링크 설립을 시도하였음	합격
DM 프레임	현재 링크가 없을 때, 데이터를 수신하면 DM 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.2	링크가 없는 상태에서 자신의 주소로 수신된 프레임에 대해 DM 프레임을 전송함을 확인함	합격
SRM 모드	전송 중 누락된 INFO 프레임에 대해서는 SREJ 프레임을 보내어 재전송을 요청하여야 하며, SREJ 프레임을 받으면 요청된 프레임에 대해 재전송을 수행하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.4	하나의 프레임, 연속적인 두 개 이상의 프레임, 비 연속적인 두 개의 프레임을 누락시켜, 수신측에서 SREJ 프레임을 통해 재전송을 요청함을 확인하였고, 이에 대해 누락된 프레임을 재전송하는지 확인하였음	합격
P/F 비트	반드시 응답을 요하는 프레임에 대해서는 P=1로 설정하고, P=1 프레임에 대해서는 F=1로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.6	수신응답이 없을 때 연속적인 k개의 프레임에 대해 k-1개 프레임은 P=0이며, k번째 프레임은 P=1로 전송됨을 확인하였고, P=0에 대해서는 F=0 응답을 P=1에 대해서는 F=0 응답을 수신함을 확인하였음.	합격
브로드캐스트 주소 지원	탑재와 항공국 모두 수신할 수 있는 브로드캐스트 주소를 지원하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.4	브로드캐스트 주소를 갖는 GSIF 프레임이 전송될 수 있음을 확인하였고, 항공기가 이를 인식할 수 있음을 확인하였음.	합격

<표 3-5-3-18> 지상용 통신관리장치 시험항목 및 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
전송 우선순위	Supervisory 프레임이 Information 프레임보다 높은 우선순위를 가진다.	DO-224B 3.2.2.4.10.1.2	Information 프레임과 Supervisory 프레임이 동시에 버퍼에 있을 때, Supervisory 프레임이 먼저 전송됨을 확인하였음.	합격

4. 데이터링크 서비스 처리기(DSP) 개발

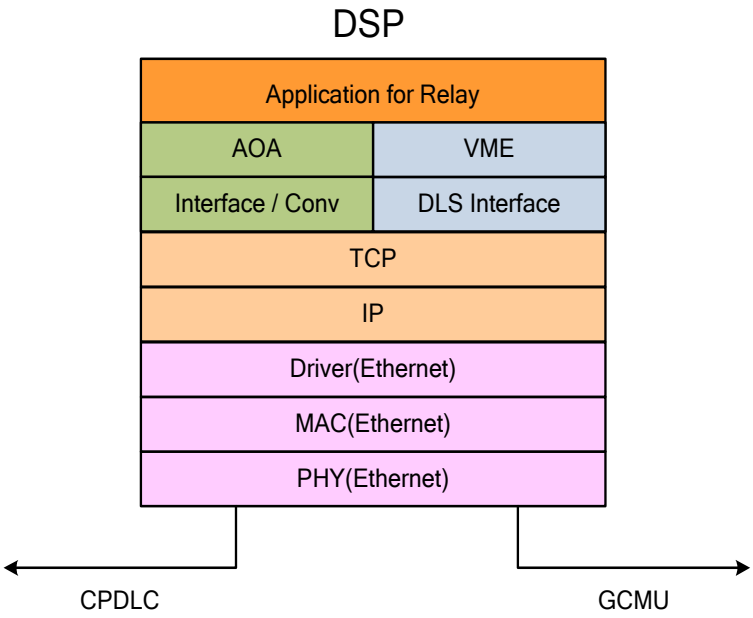
가. 하드웨어



<그림 3-5-4-1> DSP 하드웨어 형상

나. 소프트웨어 구성

DSP는 AOA, Interface/Conv, VME, DLS Interface 기능이 포함되며, CPDLC에서 DSP, DSP에서 GCMU간의 물리적 인터페이스는 이더넷을 사용하고 OS(Operation System)는 Linux Kernel 2.6을 사용한다. DSP의 소프트웨어 계층 구조는 아래 그림과 같다.



<그림 3-5-4-2> DSP 소프트웨어 구성

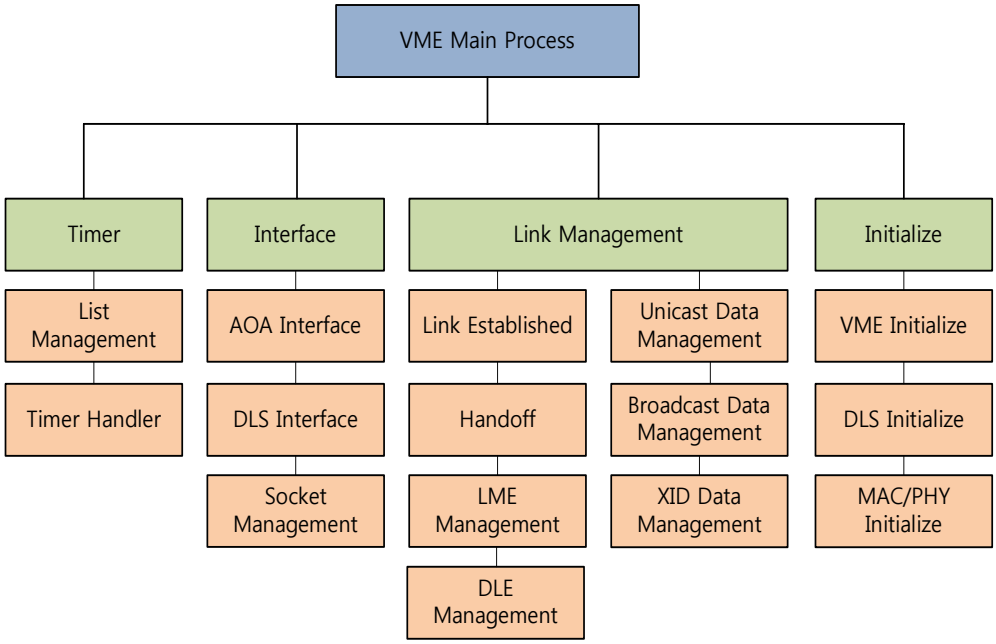
Ground System에서 DSP는 오직 한 개만 존재하며 ground station은 여러 개가 존재할 수 있다.

DSP는 여러 개의 GCMU, GVDR을 유지, 관리하며, 항공기와의 링크를 설립하고 핸드오프를 수행하며, 상위 레이어의 데이터를 항공기로 전송하거나 하위 레이어의 데이터를 상위 레이어로 전송하는 기능을 담당하고, GCMU, GVDR의 내부 파라메터를 설정하고 초기화 한다.

VME는 항공기와 연결을 설정하기 위해서 항공기의 LME, DLE와 링크를 구성하는 LME를 생성하고 GCMU에게 DLE를 생성하도록 시킨다. DSP에는 한 개의 VME가 존재하며 각 항공기 마다 한 개의 LME와 DLE를 생성하지만 핸드오프시에는 하나의 LME가 두 개의 서로 다른 ground station내에 존재하는 각각의 DLE를 생성하며, 핸드오프가 종료하면 오래된 DLE를 삭제한다. VME는 TG1, TG2, TG3, TG4, TG5와 같은 타이머를 관리하며, 리눅스에서는 하나의 타이머에서 구현해야 하므로 각각의 타이머를 리스트로 관리한다.

다. 소프트웨어 설계 및 구현

(1) VME Main Process



<그림 3-5-4-3> VME Block Diagram

위의 그림은 VME 소프트웨어 블록 다이어그램을 나타낸다. VME는 링크와 데이터 관리를 위한 Link Management, 초기화를 담당하는 Initialize, 내부 LME들의 타이머를 관리하는 Timer, 상위 레이어와 GCMU와의 인터페이스를 담당하는 Interface 블록이 있다.

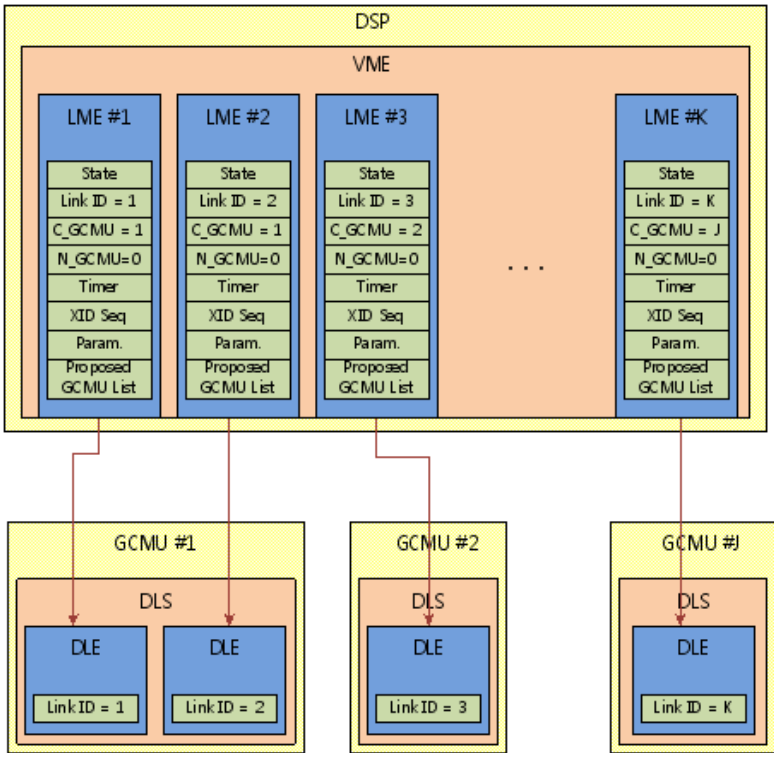
Link Management 블록은 여러 서브 블록으로 나뉘는데, 링크를 설립하는 Link Established, 핸드오프를 담당하는 Handoff, LME의 생성과 삭제를 관리하는 LME Management, 링크 관리를 위해 GCMU내의 DLE를 관리하는 DLE Management, 링크를 설립하기 위하여 보내어 지는 XID 데이터의 내부 여러 파라메터를 관리하는 XID Data Management, 상위 레이어에서 내려오는 데이터를 항공기로 전송하거나 또는 역방향으로 전송하는 부분을 담당하는 Unicast Data Management, Broadcast Data Management로 구성된다.

타이머 블록은 각 LME에 존재하는 TG2, TG3, TG4, TG5의 타이머를 하나의 리스트로 관리하기 위해 List Mangement와 타임아웃이 발생했을 때 이를 처리해 주는 Timer Handler로 구성된다.

인터페이스 블록은 상위 레이어인 AOA와의 인터페이스를 위한 AOA Interface, 하위 레이어인 GCMU의 DLS와 인터페이스를 위한 DLS Interface 그리고 이더넷 인터페이스를 위한 Socket Management로 구성된다.

초기화 블록은 VME의 내부 파라메터를 초기화 하는 VME Initialize, GCMU의 DLS를 초기화 하는 DLS Initialize, GVDR의 MAC/PHY Initialize로 구성된다.

(2) VME 구현 및 구조



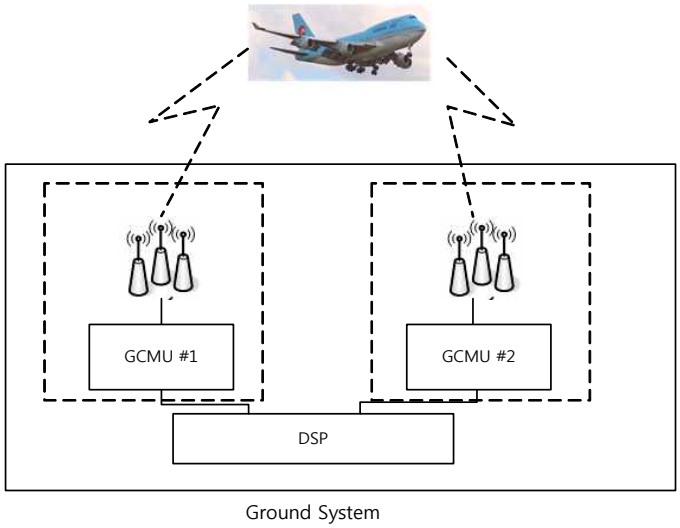
<그림 3-5-4-4> VME와 DLS의 링크 성립 관계

LME는 VME가 각 링크를 관리하기 위하여 생성하는 객체이며, 실체는 State, Link ID, 관리되는 GCMU, DLE, Timer 등을 갖는 구조체이다. LME는 리스트로 관리되며 삽입, 삭제가 자유로운 동적 Double Linked List로 관리된다.

Ground System 내에 한 개의 DSP가 존재하며 여러 개의 GCMU가 존재한다. DSP에 VME가 위치하며 GCMU에 DLS가 존재한다. VME는 링크가 설립되면 VME내에 항공기당 한 개의 LME와 GCMU에 DLE를 생성한다. 다음 그림은 LME와 GCMU, DLE의 관계를 나타낸다.

VME는 Link ID로 링크를 관리하며 ABM_single 모드에서는 하나의 LME와

하나의 DLE가 생성되지만, ABM_Mult 상태에서는 하나의 DLE가 다른 GCMU에 생성이 되고 하나의 Link ID로 두 개의 DLE를 관리한다. 오래된 DLE는 TG5 타임아웃이 발생하면 삭제한다.



<그림 3-5-4-5> 핸드오프 과정

위의 그림은 핸드오프 과정을 나타내고 있다. 핸드오프를 하기 전에는 DSP에 LME #1, GCMU #1에 DLE가 생성 된다.

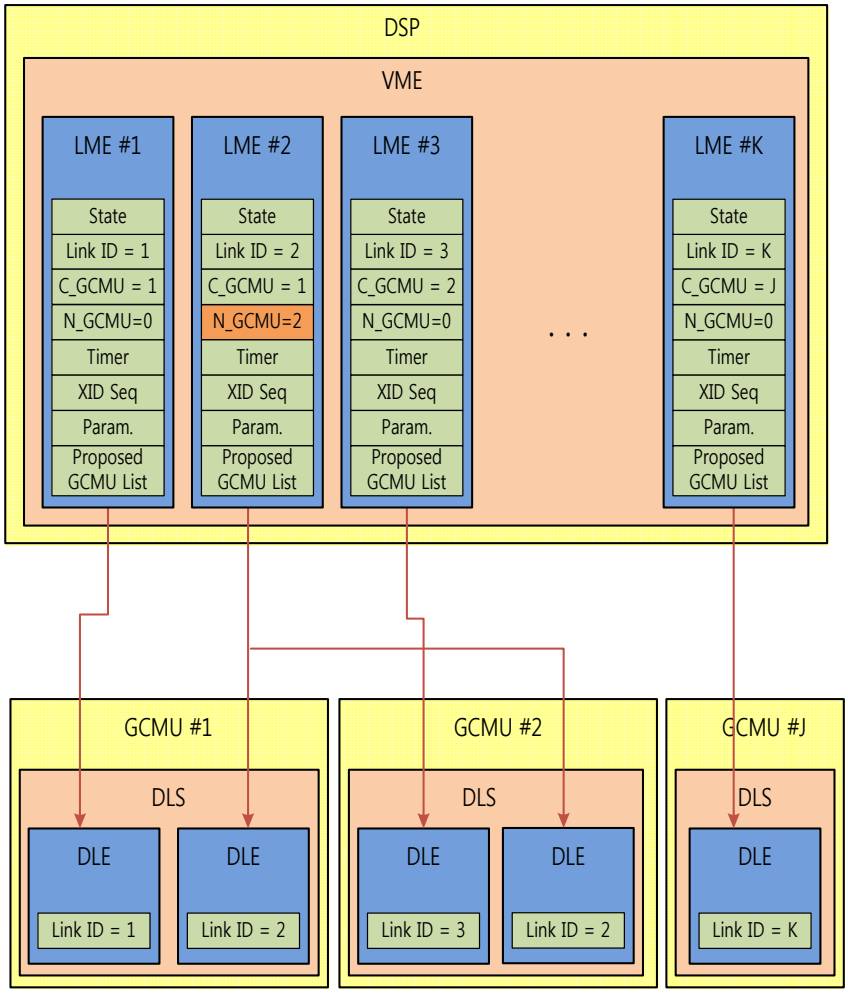
- LME : 1 개
- DLE : 1 개

이 후, 항공기가 GCMU #2로 핸드오프 요구를 하게 되면 GCMU #2에 DLE가 생성이 되고, DSP의 LME #1이 두 개의 DLE를 Link ID로서 관리한다.

- LME : 1 개
- DLE : 2 개

일정한 시간, 즉 TG5 시간이 지나면 VME는 GCMU #1의 DLE를 제거하고 GCMU #2의 DLE로 통신을 유지한다.

- LME : 1 개
- DLE : 1 개

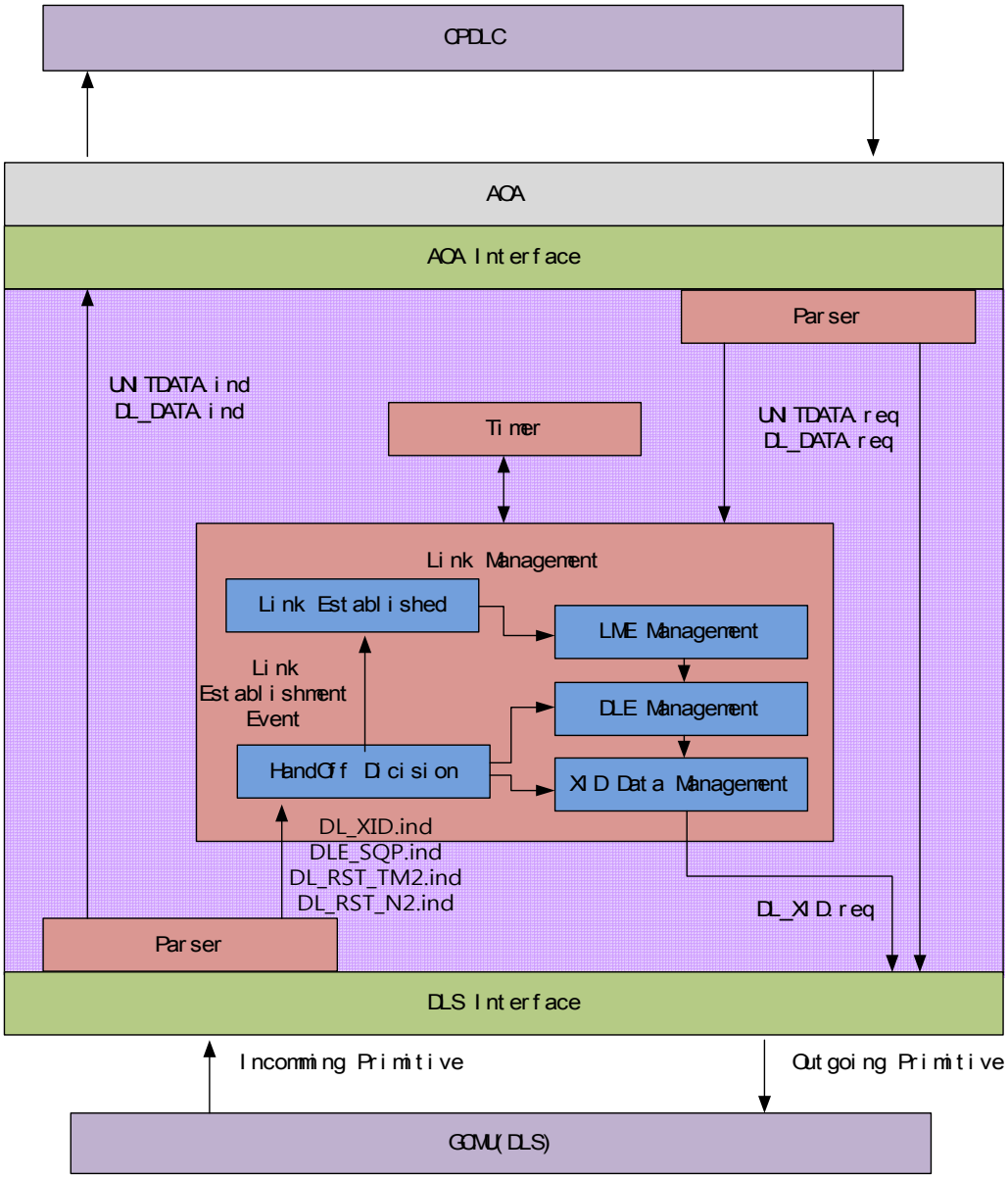


<그림 3-5-4-6> 핸드오프중일 때 VME와 DLS의 링크 성립 관계

(3) VME Function Flow

VME는 항공기로부터 연결 설정 요청(XID_CMD_LE(P=1))을 수신하면 XID_RSP_LE(F=1)로 응답을 하고, 해당 링크에 새로운 Link ID를 부여하고 LME를 생성한다. 그리고 DLE_CREATE.req Primitive를 XID_CMD_LE(P=1)을 수신한 GCMU로 전송하여 DLE를 생성하도록 한다.

또한, 링크 종료 메시지(DISC)나 잘못된 프레임 수신을 알리는 DM을 수신 했을 때는 LME를 삭제하고 DLE_DELETE.req Primitive를 전송하여 해당 DLE를 삭제한다.

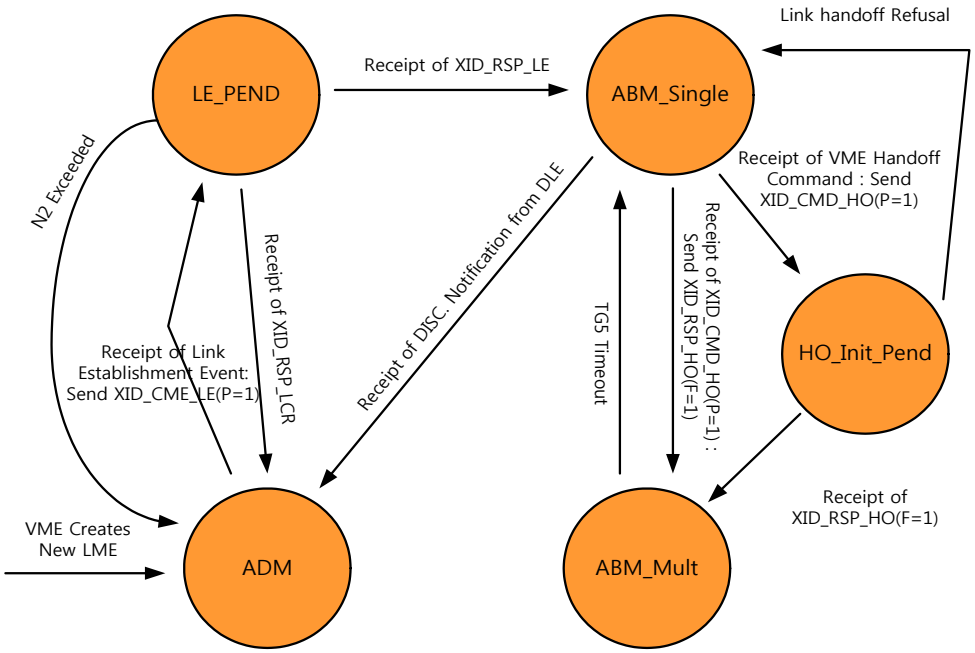


<그림 3-5-4-7> VME Function Flow Diagram

(4) LME State

LME는 링크 설립 여부, 핸드오프 여부에 따라 여러 상태 값을 갖는다.

다음 그림은 LME State Diagram을 나타낸다.



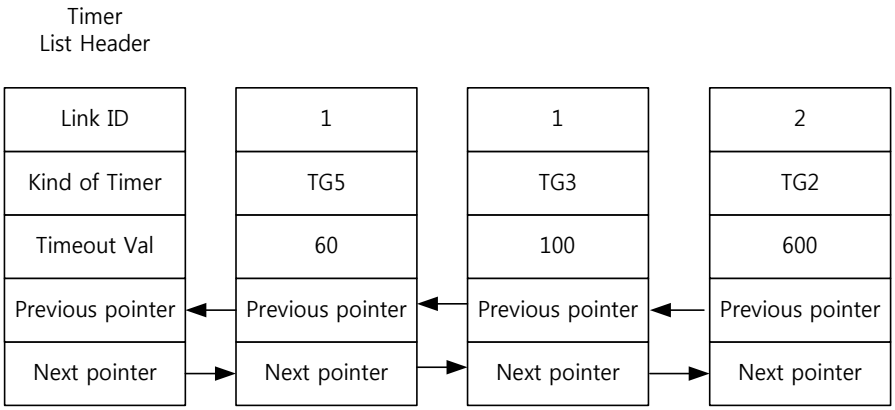
<그림 3-5-4-8> LME State Diagram

ADM Mode는 현재 설립된 링크가 없는 상태를 나타내며, 항공기와 링크가 설립이 되면 ABM_single Mode가 된다. ABM_single Mode에서는 하나의 LME와 DLE를 갖는다.

- HO_Init_Pend Mode는 ABM_Single Mode에서 새로운 GCMU로 핸드오프를 시도 중임을 나타낸다.
- ABM_Mult Mode는 핸드오프중일 때 일시적으로 두 개의 링크를 갖는데, 한 개의 LME가 두 개의 DLE를 관리한다.

(5) 타이머

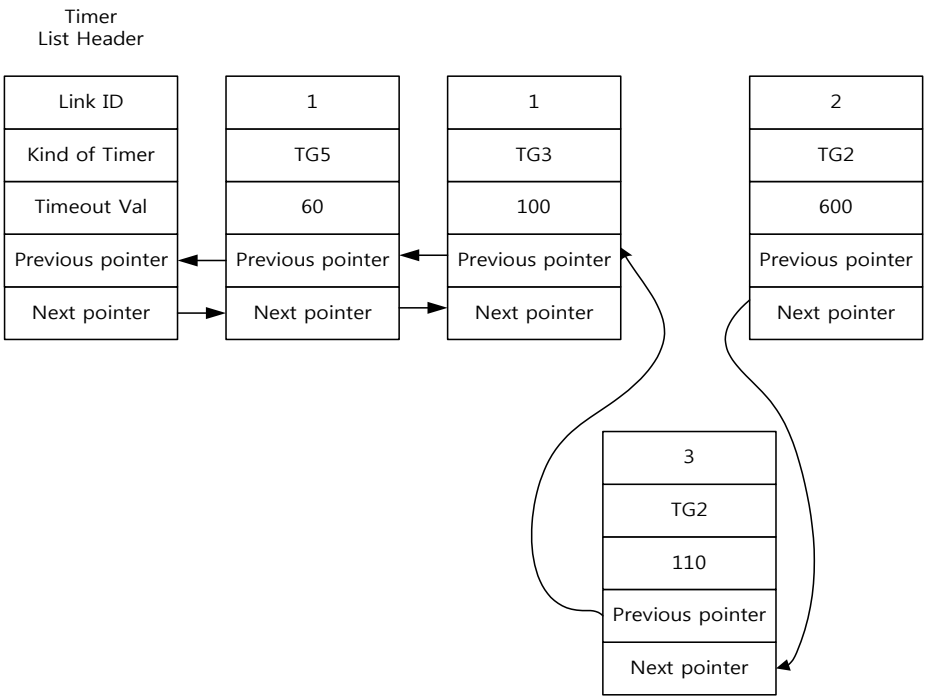
LME에는 TG1, TG2, TG3, TG4, TG5등 여러 타이머를 갖는다. 하지만 리눅스에서는 한 개의 process에서는 한 개의 타이머를 가지므로, 여러 타이머를 구현하기 위해서는 리스트로 관리하여야 한다. 타이머 리스트는 삽입, 삭제가 용이하도록 Double Linked List로 설계한다.



<그림 3-5-4-9> 타이머 리스트

타이머 리스트 구조체는 타이머를 설정하는 LME 번호 즉, Link ID와 타이머 종류, 타임아웃 값, 그리고 포인터가 존재하며, 타임아웃 순으로 정렬을 해서 삽입한다.

타이머 세팅은 리스트의 첫 번째 타임아웃 값으로 세팅하고, 타임아웃이 발생하면, 첫 번째 리스트의 Link ID와 타이머 종류를 확인하여 해당 처리를 수행한 다음 리스트에서 삭제하고 다음 타임아웃 값으로 타이머를 설정한다.



<그림 3-5-4-10> 타이머 리스트 삽입 예제

함수 코드는 다음과 같다.

```
ST_LME                          *lme      = NULL;
ST_LME                          *tmp      = NULL;
TIMER_LIST              sav_timer;
struct timeval          curr;

if( timer_list.next == NULL)
{
    STR_LEVEL0("Timer list empty₩n");
    return;
}

do
{
    memcpy(&sav_timer, timer_list.next, sizeof(TIMER_LIST));
    timer_queue_remove(timer_list.next);

    // Process Timer Handle
    switch(sav_timer.kind_of_timer)
    {
            case TIMER_T2:
                    send_RR(sav_timer.link_id, sav_timer.cmu_number);
                    break;

            case TIMER_TG2:
                    lme = &lme_list;
                    if( lme->next != NULL)
                    {
                            lme = lme->next;
                            do
                            {
                                    tmp = lme->next;
                            if( (lme->c_cmu == sav_timer.cmu_number) || (lme->n_cmu ==
                            sav_timer.cmu_number) )
                                    {
                                            do_delete_lme(lme);
                                    }
                            }while( (lme = tmp) != NULL);

                    }
                    break;

            case TIMER_TG3:

                    send_GSIF(sav_timer.cmu_number);
                    break;
```

```
                case TIMER_TG4:

                        send_GSIF(sav_timer.cmu_number);
                        break;
                case TIMER_TG5:
                        if( (lme = seek_lme_linkid(sav_timer.link_id)) )
                        {
                                process_timer_tg5(lme);
                        }
                        else
                        {
                                STR_LEVEL0("Wrong Link ID %d₩n", sav_timer.kind_of_timer);
                        }
                        break;
        }

        if( sav_timer.kind_of_timer == TIMER_TG4 || sav_timer.kind_of_timer == TIMER_TG3)
                start_TG4(sav_timer.cmu_number);
        if( timer_list.next == NULL)
                break;
        if( gettimeofday(&curr, NULL) == -1)
        {
                STR_LEVEL0("Not read Current Time₩n");
                return;
        }
    }while( timercmp(&(timer_list.next->timeout), &curr, <) );



    if( timer_set(1) == FALSE)
    {
        STR_LEVEL0("TIMER IS EMPTY₩n");
        timer_state_change(IDLE);
    }
```

T2 타이머가 만료하면 RR을 보내도록 해당 DLE에게 명령어를 전송하고, TG2가 만료하면 해당 CMU와 연결된 링크는 삭제한다.

TG3와 TG4가 만료하면 GSIF를 전송하고, TG5가 만료하면, 해당링크의 OLD 링크는 삭제하고, New링크를 Old링크로 복사한다.

(6) Initialize

GCMU로부터 접속 요구가 들어오면 GCMU의 IP를 확인하여 기 입력된 환경정보가 있으면 해당 환경 정보로 세팅하고 기 입력된 환경정보가 없다면 Default

값으로 설정하며, 새로운 ICAO 24bit Address를 할당하며, CMU 넘버를 부여한다.

그리고, ADDR.req로 해당 GCMU와 GVDR의 Address를 설정하며, VDR_PARAM.req로 GVDR의 내부 파라메터를 설정하며, DLS_PARAM.req로 GCMU의 DLS 내부 파라메터를 설정한다.

모든 설정을 마쳤다면 해당 GCMU로 GSIF를 전송하여, 항공기의 접속을 유도한다.

```
BOOL        accept_DLS(int fd, struct sockaddr_in client_addr)
{
    UNS8            send_data[MAX_DATA_LEN];
    UNS16           send_size                                   = 0;
    CMU_LIST        *cmu                                            = NULL;
    UNS32           dls_ip_addr                                     =       0;
    UNS32           my_addr, broad_addr, multi_addr;


    dls_ip_addr = client_addr.sin_addr.s_addr;

    STR_LEVEL1("DLS Ip Addr = %s₩n", inet_ntoa(client_addr.sin_addr) );

    if( mapping_save_config(&cmu, fd, dls_ip_addr ) == FALSE)
    {
            STR_LEVEL1("Set Default Setting...₩n");
            CHECK(set_default_config(&cmu, fd, dls_ip_addr));
            save_append(cmu);

            STR_LEVEL1("SAVE₩n");
            print_cmu(&save_global_params);
    }

    global_params.mng_cmu_number ++;

    icao_to_avlc_dst_addr(&my_addr, cmu->dls_address, global_params.addr_type,
                    !global_params.AG_val);
    icao_to_avlc_dst_addr(&broad_addr, BROADCAST_ADDR, BROADCAST_ADDR_TYPE,
                    !global_params.AG_val);
    if( global_params.AG_val == GROUND)
    {
    icao_to_avlc_dst_addr(&multi_addr, BROADCAST_ADDR, GROUND_ADDR_DELEGATED_TYPE,
            !global_params.AG_val);
    }
    else
    {
            icao_to_avlc_dst_addr(&multi_addr, BROADCAST_ADDR, AIRCRAFT_ADDR_TYPE,
                    !global_params.AG_val);
    }
```

```
    /* ADDR.req */
    memset(send_data, 0x00, sizeof(send_data));
    send_size = sizeof(send_data);
    CHECK( make_ADDR_req(send_data, &send_size, my_addr,  broad_addr,  multi_addr));
    send_to_DLS_sockfd(cmu->socketfd, send_data, send_size);

    /* VDR_PARAM.req */
    memset(send_data, 0x00, sizeof(send_data));
    send_size = sizeof(send_data);
    CHECK( make_VDR_PARAM_req(send_data, &send_size, cmu->cmu_number));
    send_to_DLS_sockfd(cmu->socketfd, send_data, send_size);

    /*DLS_PARAM.req */
    memset(send_data, 0x00, sizeof(send_data));
    send_size = sizeof(send_data);
    memset(&(cmu->params), 0x00, sizeof((cmu->params)));
    set_DLS_PARAMS(&(cmu->params), cmu, 0 , 0);
    print_DLS_PARAM(&(cmu->params) );
    CHECK( make_DLE_DLS_PARAM_req(send_data, &send_size, (cmu->params)));
    send_to_DLS_sockfd(cmu->socketfd, send_data, send_size);

    send_GSIF(cmu->cmu_number);
    start_TG4(cmu->cmu_number);

    return TRUE;
}
```

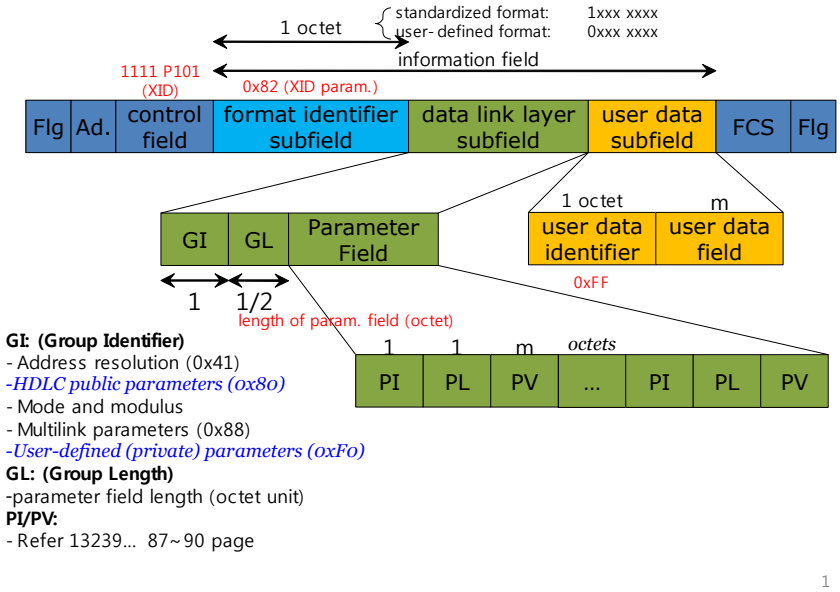
(7) Proposed GCMU List

DLE_SQP.ind를 수신하면 링크별로 SQP 가 높은 순으로 정렬을 해서 Proposed GCMU List에 GCMU 번호를 저장한다. 이후 링크 되어 있는 GCMU의 SQP가 4 이하이고 다른 GCMU의 SQP가 12이상이면 다른 GCMU로 XID_CMD_HO(P=1)을 보내서 핸드오프를 시작한다.

(8) XID

XID frame은 LME가 링크를 설정하고 유지하기 위해 사용된다. XID frame은 새로운 것과 그렇지 않은 것을 구분하기 위해서(재전송이 일어날 경우) sequence number를 사용하는데, XID를 받은 수신 station은 그에 대한 응답으로서 같은 sequence number를 가진 XID_RSP (XID response)를 송신단에 보낸다.

XID 프레임은 다음 그림과 같은 규칙으로 만들어 진다.



<그림 3-5-4-11> XID 파라미터 형식

다음 표는 XID Frame의 종류를 나타낸다.

<표 3-5-4-1> XID Frame 의 종류

Name	C/R	P/F	Notes
GSIF	0	0	Ground Station Identification Frame
XID_CMD_LE	0	1	Link Establishment
XID_CMD_LCR	0	0	Link Connection Refused
XID_CMD_LPM	0	1	Link Parameter Modification
XID_CMD_HO	0	1	P=1, Initiating Handoff
XID_CMD_HO	0	0	P=0, Requesting Handoff
XID_RSP_LE	1	1	
XID_RSP_LCR	1	1	
XID_RSP_LPM	1	1	
XID_RSP_HO	1	1	

다음은 각 XID 프레임에 포함될 내부 파라메터들 목록이다.

GSIF(P=0) - Ground Station Information Frame Broadcast				
XID parameters	GI	PI	Doc 9776	GSIF
Source address	Ground station			
Destination address	All aircraft			
■ Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	M
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	M
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	M
N1-downlink	80h	05h	ATable 4-3	O
N1-uplink	80h	06h	ATable 4-4	O
k-downlink	80h	07h	ATable 4-5	O
k-uplink	80h	08h	ATable 4-6	O
Timer T1-downlink	80h	09h	Table 5-7	O
Counter N2	80h	0Ah	ATable 4-7	O
Timer T2	80h	0Bh	ATable 4-8	O
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	M
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O
Frequency support	F0h	C0h	Table 5-37	O
Airport coverage	F0h	C1h	Table 5-38	M
Nearest airport ID	F0h	C3h	Table 5-39	M
ATN router NETs	F0h	C4h	Table 5-40	M
System mask	F0h	C5h	Table 5-41	M
TG3	F0h	C6h	Table 5-42	O
TG4	F0h	C7h	Table 5-43	O
Ground station location	F0h	C8h	Table 5-44	O

XID_CMD_LE (P=1) - Link establishment command				
XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_CM
Source address				Aircraft
Destination address				Propose
■ Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	M
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	M
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	M
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	M
Expedited SN connectio	F0h	05h	Table 5-17	O
Modulation support	F0h	81h	Table 5-20	M
Alternate ground stations	F0h	82h	Table 5-22	O
Destination airport	F0h	83h	Table 5-23	O
Aircraft location	F0h	84h	Table 5-24	O

XID_RSP_LE (F=1) - Link establishment response

XID parameters	GI	PI	Doc 9776
Source address			
Destination address			
■ Public parameters			
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A
N1-downlink	80h	05h	ATable 4-3
N1-uplink	80h	06h	ATable 4-4
k-downlink	80h	07h	ATable 4-5
k-uplink	80h	08h	ATable 4-6
Timer T1-downlink	80h	09h	Table 5-7
Counter N2	80h	0Ah	ATable 4-7
Timer T2	80h	0Bh	ATable 4-8
■ Private Parameters			
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9
Connection management	F0h	01h	Table 5-10
SQP	F0h	02h	Table 5-13
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15
Expedited SN connection	F0h	05h	Table 5-17
Autotune frequency	F0h	40h	Table 5-26
Replacement ground station	F0h	41h	Table 5-27
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33
Frequency support	F0h	C0h	Table 5-37
Airport coverage	F0h	C1h	Table 5-38
Nearest airport ID	F0h	C3h	Table 5-39
ATN router NETs	F0h	C4h	Table 5-40

XID_CMD_LPM (P=1) - Link parameter modification command

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_CM
Source address				Current
Destination address				Aircraft
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O

XID_RSP_LPM (F=1) - Link parameter modification response

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_RSP
Source address				Aircraft
Destination address				Current
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M

XID_CMD_HO(P=1) - Ground Initiated Handoff command

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	Ground XID_CM
Source address				Propose
Destination address				Aircraft
■Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	O
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	O
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	O
N1-downlink	80h	05h	ATable 4-3	O
N1-uplink	80h	06h	ATable 4-4	O
k-downlink	80h	07h	ATable 4-5	O
k-uplink	80h	08h	ATable 4-6	O
Timer T1-downlink	80h	09h	Table 5-7	O
Counter N2	80h	0Ah	ATable 4-7	O
Timer T2	80h	0Bh	ATable 4-8	O
■Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	O
Expedited SN connectio	F0h	05h	Table 5-17	O
Replacement ground sta	F0h	41h	Table 5-27	O
Timer T4	F0h	42h	Table 5-28	O
MAC persistence	F0h	43h	Table 5-29	O
Counter M1	F0h	44h	Table 5-30	O
Timer TM2	F0h	45h	Table 5-31	O
Timer TG5	F0h	46h	Table 5-32	O
Timer T3min	F0h	47h	Table 5-33	O
Frequency support	F0h	C0h	Table 5-37	O
Airport coverage	F0h	C1h	Table 5-38	O
Nearest airport ID	F0h	C3h	Table 5-39	O
ATN router NETs	F0h	C4h	Table 5-40	M
System mask	F0h	C5h	Table 5-41	O
TG3	F0h	C6h	Table 5-42	O
TG4	F0h	C7h	Table 5-43	O
Ground station location	F0h	C8h	Table 5-44	O

XID_RSP_HO(F=1) - Ground Initiated Handoff response

XID parameters	GI	PI	Doc 9776	Ground XID_RSP
Source address				Aircraf
Destination address				New
■Public parameters				
Parameter set ID	80h	01h	ATable 4-0	O
Procedure classes	80h	02h	ATable 4-1A	O
HDLC options	80h	03h	ATable 4-2A	O
■Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
SQP	F0h	02h	Table 5-13	O
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
AVLC Specific options	F0h	04h	Table 5-15	O
Expedited SN connectio	F0h	05h	Table 5-17	O
Destination airport	F0h	83h	Table 5-23	O
Aircraft location	F0h	84h	Table 5-24	O

XID_RSP_LCR / XID_CMD_LCR - Link connection rejection				
				Link
XID parameters	GI	PI	Doc 9776	XID_RSP
Source address				Any
Destination address				Any
■ Private Parameters				
Parameter set ID	F0h	00h	Table 5-9	M
Connection managemen	F0h	01h	Table 5-10	M
XID sequencing	F0h	03h	Table 5-14	M
LCR cause	F0h	06h	Table 5-18	M

(9) XID 수신 처리

XID를 수신했을 경우, CR, PF와 XID 내부 파라메터인 CONNTIN_MANAGEMENT의 값의 조합으로 XID의 이름을 얻어온다.

XID의 이름을 얻어오는 함수는 다음과 같다.

```
UNS8        get_xid_name(const UNS8 *data, UNS16 size, UNS8 CR, UNS8 PF)
{
    UNS8    *ptr_xid  = (UNS8 *)data;
    UNS8    rh = 0;
    UNS8    result = 0;

    ptr_xid = skip_public_parameter(ptr_xid, &size);
    ptr_xid = skip_group_hdr(ptr_xid, &size);

    do{
            if( ptr_xid[0] == PI_CONNECTION_MNG)
            {
                    rh = ptr_xid[2];
                    rh = rh&0x03;
                    break;
            }
    }while( (ptr_xid = skip_parameter(ptr_xid, &size)) != NULL);

    if( ptr_xid == NULL)
    {
            if( CR == 0 && PF == 0 )
            {
                    result =  GSIF;
            }else if( CR == 0 && PF == 1  )
            {
                    result =  XID_CMD_LPM;
            }else if( CR == 1 && PF == 1  )
            {
                    result =  XID_RSP_LPM;
            }else
            {
```

```
            }

    }else
    {
            if( CR == 0 && PF == 1 && rh == 0)
            {
                    result =  XID_CMD_LE;
            }
            else if( CR == 0 && PF == 0 && rh == 2)
            {
                    result =  XID_CMD_LCR;
            }
            else if( CR == 0 && PF == 1 && rh == 1)
            {
                    result =  XID_CMD_HO_P1;
            }
            else if( CR == 0 && PF == 0 && rh == 1)
            {
                    result =  XID_CMD_HO_P0;
            }
            else if( CR == 1 && PF == 1 && rh == 0)
            {
                    result =  XID_RSP_LE;
            }
            else if( CR == 1 && PF == 1 && rh == 1)
            {
                    result =  XID_RSP_HO;
            }
            else if( CR == 1 && PF == 1 && rh == 2)
            {
                    result =  XID_RSP_LCR;
            }
            else
            {
                    result = FALSE;
            }
    }

    return result;
}
```

얻어진 XID의 이름과 현재 링크의 상태에 따라 각각의 처리는 달라진다.

각 XID 별 처리 내용은 ICAO 9776 Manual On Digital Link(VDL) Mode 2의 LME Test Script를 참조하기 바란다.

다음은 XID_CMD_LE를 수신하였을 때 처리하는 함수를 보여준다.

```
BOOL        process_XID_CMD_LE(ST_LME *lme, UNS8 *xid_data, UNS16 xid_len, UNS8 CR, UNS8
PF, UNS32 my_addr, UNS32 peer_addr)
{
    ST_XID_LCR          lcr;
    UNS8                send_data[MAX_DATA_LEN];
    UNS16               send_size                               = 0;
    if( lme == NULL || xid_data == NULL)
    {
            STR_LEVEL0("Null pointer₩n");
            return FALSE;
    }
    print_LME_state(lme, my_addr, peer_addr);
    if( check_xid_seq_cmd(lme, xid_data, xid_len) == FALSE)
    {
            STR_LEVEL0("Not Found XID SEQ₩n");
            return FALSE;
    }
    if( check_XID_parameter(XID_CMD_LE, xid_data, xid_len) == TRUE)  /* Acceptable  */
    {
            switch(lme->state)
            {
                    case ABM_MULT:
                    case HO_INIT_PEND:
                    case LPM_PEND:
                    case ABM_SINGLE:
                            CHECK( do_delete_lme(lme));
                            if( (lme = create_lme(my_addr, peer_addr)) != NULL )
                            {
                                    send_size = sizeof(send_data);
                                    memset(send_data, 0x00, send_size);
                                    CHECK(  make_DLE_CREATE_req(send_data,  &send_size,
                                    lme->link_id, 0, my_addr, peer_addr,
                                    global_params.AG_val));
                                    // DLE_CREATE.req
                                    if( send_to_DLS_cmu_addr(my_addr, send_data,
                                    send_size) ==FALSE)
                                    {
                                            check_delete_lme(lme->link_id);
                                            return FALSE;
                                    }
                            }
                            else
                            {
                                    STR_LEVEL0("LME Create Failed₩n");
                                    return FALSE;
                            }
                            // XID_RSP_LE
                            send_size = sizeof(send_data);
                            memset(send_data, 0x00, send_size);
                            CHECK(  make_DL_XID_req(XID_RSP_LE,  send_data,  &send_size,
                            peer_addr, lme->link_id, lme->c_cmu, NULL));
```

```
                                send_to_DLS_cmu_addr(lme->c_my_addr, send_data, send_size);
                                lme->state = ABM_SINGLE;
                                break;
                        }
                }
                else                    /* Unacceptable */
                {
                        switch(lme->state)
                        {
                                case ABM_MULT:
                                case HO_INIT_PEND:
                                case LPM_PEND:
                                case ABM_SINGLE:
                                        send_size = sizeof(send_data);
                                        memset(send_data, 0x00, send_size);
                                        memset(&lcr, 0x00, sizeof(lcr));

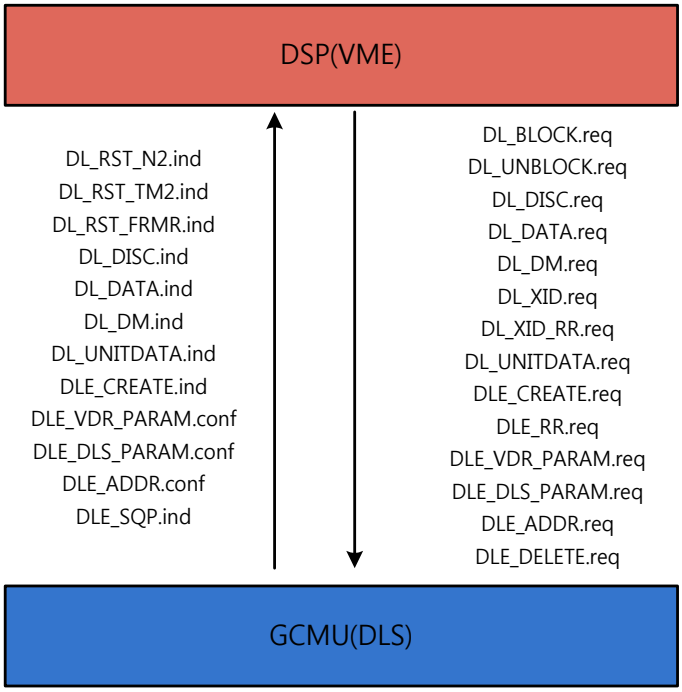
                                        if( set_LCR(&lcr, LCR_LOCAL_BAD_PARAMETER, 0,  CR, PF) ==
                                        TRUE)
                                        {
                                                CHECK( make_DL_XID_req(XID_RSP_LCR, send_data,
                                                &send_size, peer_addr, 0, get_cmu_from_addr(lme,
                                                my_addr), &lcr));
                                                send_to_DLS_cmu_addr(my_addr, send_data, send_size);
                                        }
                                        CHECK( do_delete_lme(lme));
                                        break;
                        }
                }
        print_LME_state(lme, 0, 0);

                return TRUE;
        }
```

라. 외부 인터페이스 설계

(1) DLS 인터페이스 설계

DSP와 GCMU간의 인터페이스는 TCP/IP를 사용한다. DSP와 GCMU간에 송수신 되는 Primitive는 다음 그림과 같다.



<그림 3-5-4-12> Primitive Flow

다음은 각 Primitive 들의 프레임 포맷이다.

여기에서 Header는 0xD2이고 EOF는 0xFF를 사용한다.

DL_RST_N2.ind

1		31
Header	ID(0x01)	Length
Link ID	DLE ID	S. Addr
		D. Addr
		EOF

N2 만료시 DLS가 VME에게 알리는 Primitive이다.

XID에 대한 N2 만료시 Link ID와 DLE ID는 0 이고, Link ID가 0 일때는 S. Addr와 D. Addr이 유효하다.

DL_RST_TM2.ind

1		31
Header	ID(0x02)	Length
S. Addr		
EOF		

GVDR에서 TM2 만료시 VME에게 알리는 Primitive이다. VME는 이 Primitive를 수신하면 해당 항공기에 대해 새로운 Ground station으로 핸드오프를 시작한다.

DL_RST_FRMR.ind

1 31

Header	ID(0x03)	Length	
Link ID	DLE ID	Cause	EOF

DLS가 FRMR 모드로 진입하면서 VME에게 알리는 Primitive이다.

DL_DISC.ind

1 31

Header	ID(0x04)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

DLS가 DISC 프레임을 수신하면 VME에게 알린다.

DL_BLOCK.req

1 31

Header	ID(0x06)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

링크가 일시적으로 사용할 수 없을 때 DLE를 block 시킬 때 사용한다.

DL_UNBLOCK.req

1 31

Header	ID(0x07)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

블록된 링크가 복구 되었을때 사용한다.

DL_DISC.req

1 31

Header	ID(0x08)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

VME가 DLS에게 DISC 프레임을 전송 요청하는 Primitive이다.

DL_DATA.ind

1 31

Header	ID(0x05)	Length
Link ID	DLE ID	S. Addr
		D. Addr
User Data (1 ~ 2048 Bytes)		
		EOF

DLS가 VME에게 unicast 데이터 수신을 알리는 Primitive이다.

링크가 되어 있는 곳으로부터 수신하면 Link ID를 세팅하고 링크가 없는 곳으로부터 수신하면 Link ID를 0으로 하고 S. Addr과 D. Addr을 세팅한다.

DL_DATA.req

1 31

Header	ID(0x09)	Length
Link ID	DLE ID	
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

VME가 DLS에게 unicast 데이터 전송 요청을 하는 Primitive이다.

DL_XID.ind

1 31

Header	ID(0x011)	Length
S. Addr		
D. Addr		
C/R	P/F	
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

DLS가 VME에게 XID 프레임 수신을 알리는 Primitive이다.

DL_XID.req

1 31

Header	ID(0x15)	Length
Retx	D. Addr	
	C/R	P/F
User Data (1~2048 Bytes)		
		EOF

VME가 DLS에게 XID 프레임을 전송 요청하는 Primitive이다.

DL_DM.ind

1 31

Header	ID(0x12)	Length
S. Addr		
D. Addr		
EOF		

DL_DM.req

1 31

Header	ID(0x14)	Length
D. Addr		
EOF		

DL_UNITDATA.ind

1 31

Header	ID(0x13)	Length
S. Addr		
D. Addr		
User Data (1~2048 Bytes)		
EOF		

DLS가 VME에게 Broadcast 데이터 수신을 알리는 Primitive이다.

DL_UNITDATA.req

1 31

Header	ID(0x17)	Length
D. Addr		
User Data (1~2048 Bytes)		
EOF		

VME가 DLS에게 Broadcast 데이터 전송 요청 Primitive이다.

DLE_CREATE.req

1 31

Header	ID(0x21)	Length
Link ID	DLE ID	S. Addr
		D. Addr
	A/G	EOF

VME가 DLS에게 DLE 생성 요청 Primitive이다.

DLE_CREATE.ind

1			31
Header	ID(0x22)	Length	
Link ID	DLE ID	Result	EOF

DLS가 VME에게 DLE 생성 결과를 알려준다.

DLE_RR.req

1		31
Header	ID(0x23)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

VME는 유효한 Info 프레임을 수신하면 DLE에게 RR 을 전송하도록 요청한다.

DLE_VDR_PARAM.req

1		31	
Header	ID(0x24)	Length	
Freq		TM1	TM2
M1		p	EOF

VME가 VDR의 내부 파라메터를 세팅하기 위한 Primitive이다.

DLE_VDR_PARAM.conf

1		31	
Header	ID(0x25)	Length	
Freq		TM1	TM2
M1		p	EOF

VDR이 DLE_VDR_PARAM.req에 대한 응답으로 VME에게 전송한다.

DLE_ADDR.req

1		31
Header	ID(0x26)	Length
Source Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

VME가 DLS와 VDR의 주소를 세팅하기 위한 Primitive이다.

DLE_ADDR.conf

1 31

Header	ID(0x27)	Length
Source Addr		
Broadcast Addr		
Multicast Addr		
EOF		

DLE_ADDR.req에 대한 응답이다.

DLE_SQP.ind

1 31

Header	ID(0x28)	Length
S. Addr		
D. Addr		
SQP	Freq	EOF

VDR은 유효한 데이터를 수신하면 신호 품질을 측정을 해서 VME에게 알린다.

DLE_DELETE.req

1 31

Header	ID(0x29)	Length
Link ID	DLE ID	EOF

DLE를 삭제하기 위한 Primitive이다.

DLE_DLS_PARAM.req

1 31

Header	ID(0x2A)	Length
N1-Downlink		N1-Uplink
k-down	k-up	T1 downlink
		T2
N2	T4	T3 min
	EOF	

VME가 DLS의 내부 파라메터를 세팅하기 위한 Primitive이다.

DLE_DLS_PARAM.conf

1 31

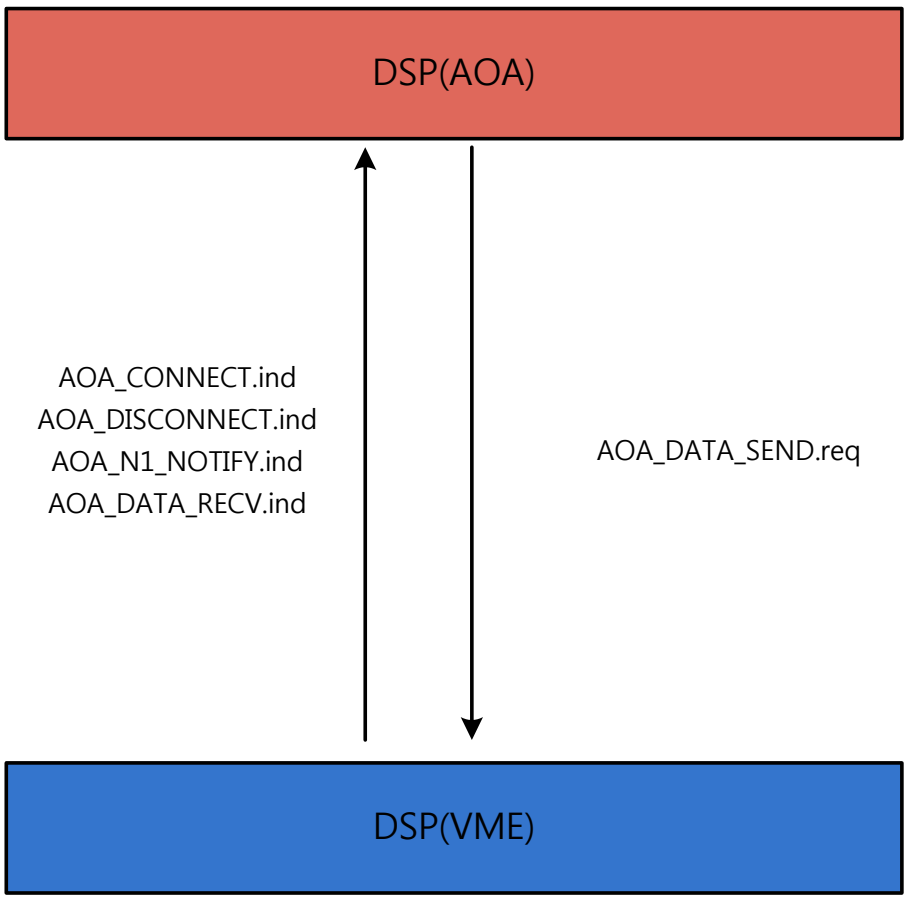
Header	ID(0x2B)	Length
N1-Downlink		N1-Uplink
k-down	k-up	T1 downlink
		T2
N2	T4	T3 min
	EOF	

DLE_DLS_PARAM.req에 대한 응답이다.

현재 설정된 파라메터를 설정해서 응답한다.

(2) AOA 인터페이스 설계

VME와 AOA간의 인터페이스는 TCP/IP를 사용한다. VME와 AOA간에 송수신 되는 Primitive는 다음 그림과 같다.



<그림 3-5-4-13> Primitive Flow

다음은 각 Primitive 들의 프레임 포맷이다.

여기에서 Header는 0xFA이고 EOF는 0xFF를 사용한다.

AOA_CONNECT.ind

1 31

Header	ID(0x01)	Length
TN		
EOF		

VME는 Tailnumber(TN)을 갖는 항공기와 VDL Mode2 링크를 성립하였을때 AOA에게 알린다.

AOA_DISCONNECT.ind

1 31

Header	ID(0x02)	Length
TN		
EOF		

VME는 Tailnumber(TN)을 갖는 항공기와 VDL Mode2 링크가 단절되었을때 AOA에게 알린다.

AOA_N1_NOTIFY.ind

1 31

Header	ID(0x03)	Length
Uplink		
Downlink		
EOF		

VME에서 관리되는 N1 Uplink와 N1 Downlink Parameter를 AOA에게 알린다.

AOA_DATA_SEND.req

1 31

Header	ID(0x04)	Length
TN		
DATA		
EOF		

AOA에서 데이터를 전송하고자 할때 사용하는 Primitive이다.

AOA_DATA_RECV.ind

1 31

Header	ID(0x05)	Length
TN		
DATA		
EOF		

항공기로부터 데이터를 수신하였을때 AOA에게 알리는 Primitive이다.

마. DSP 시험평가

DSP가 정상적으로 동작하는지 점검하는 항목으로 VME, DLS의 동작 상태를 확인하기 위한 것으로 시험결과를 종합하면 <표 3-5-4-2>와 같이 요약할 수 있다.

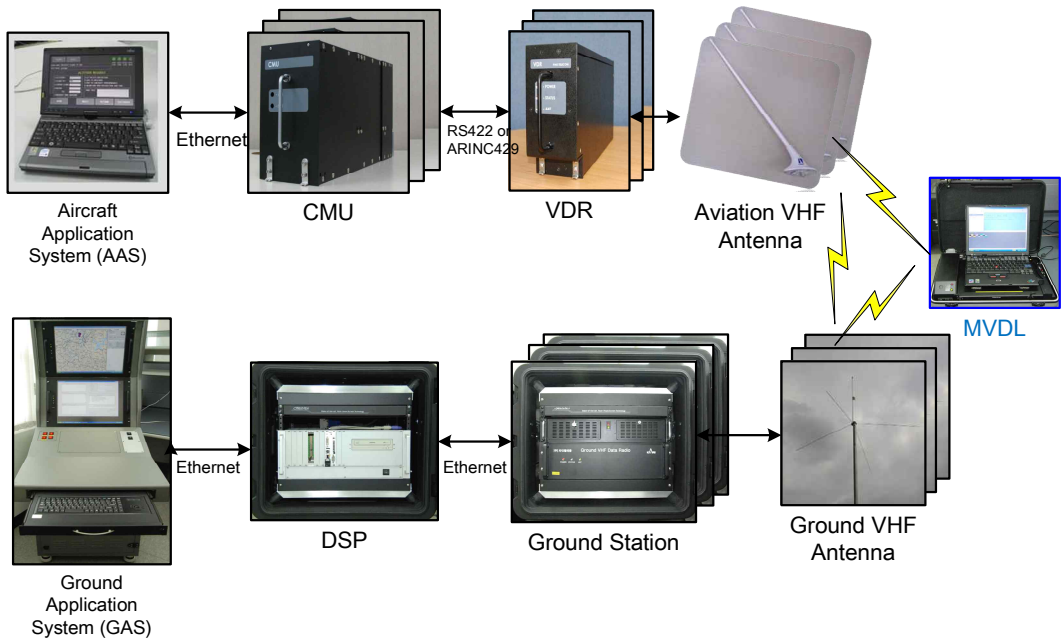
<표 3-5-4-2> DSP 구성품 시험 항목 및 결과

No	항목	규격		결과
		내용	참고문서	
1	LME 절차	지상국요청 핸드오프 요청 명령을 수신한 항국국이 핸드오프를 정상 수행하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.8	합격
2	XID 프레임	XID프레임 동작을 확인하기 위해 T3 타이머와 XID 시퀀스 파라메터 값을 기반으로 하는 XID 프레임 재전송 시험을 수행한다.	DO-224B 3.2.2.4.8	합격
3	링크설립	항공국이 DLS address mask를 이용하여 지상국을 선택하는 절차를 정상적으로 수행하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.4	합격
4	링크설립 대기	지상국이 정상적인 링크를 유지하기 위해 전송되는 모든 데이터를 감시하는 절차를 정상적으로 수행하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.4	합격
5	TG2 (maximum idle activity time)	TG2 타이머가 정상 동작하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.2	합격
6	TG3 (maximum time between transmissions)	TG3 타이머가 정상 동작하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.3	합격
7	TG4 (maximum time between GSIFs)	TG 타이머가 정상 동작하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.4	합격
8	TG5 (maximum link overlap time)	TG5 타이머가 정상 동작하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.5	합격
9	링크파라메터 수정	XID 프레임을 통해 전달된 파라메터가 정상적으로 설정되는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.5.2	합격
10	항공국요청 핸드오프 (Aircraft Initiated Handoff)	LME가 항공국요청 핸드오프를 정상적으로 수행하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.6	합격
11	지상국요청 핸드오프 (Ground Initiated Handoff)	LME가 지상국요청 핸드오프를 정상적으로 수행하는지 확인한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.8	합격

제 6 절 VDL M2 운용시험장비 개발

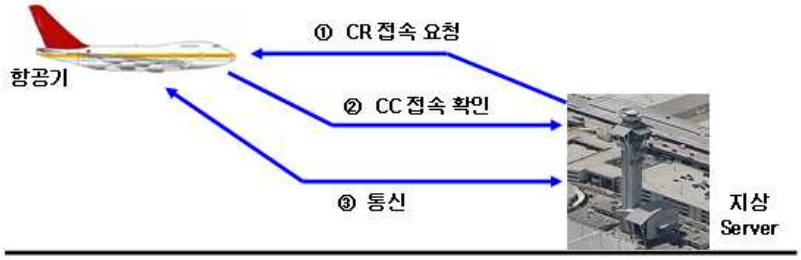
1. 운용시험장비 개요

VDL M2 운용시험장비는 개발된 VDL Mode 2 시스템의 기능과 성능을 통합 검증하기 위해 고안된 장비로서, AFN(ATS Facility Notification), CPDLC(Controller-Pilot Data Link Communication), ADS(Automatic Dependent Surveillance) 기능을 운용시험의 목적에 맞도록 제한적으로 구현하였고, VDL 하드웨어의 성능 확인을 위해 Loop-back Test 및 AVLC Frame Test 기능과 항공교통 애플리케이션인 PDC(Pre-Departure Clearance) 연동 운용 기능이 포함되어 구현되었다. 운용시험장비와 연결된 전체 시스템 구성도는 <그림 3-6-1-1>과 같다.



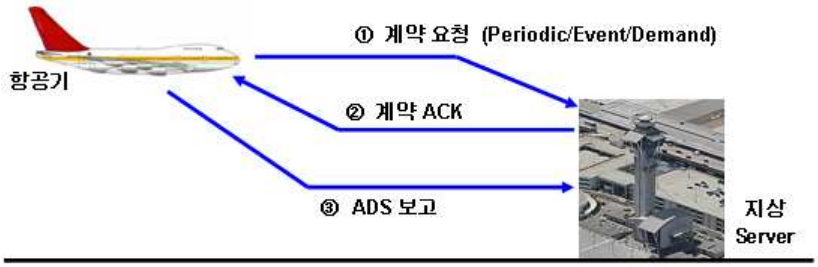
<그림 3-6-1-1> 운용시험장비와 VDL M2 개발시스템 구성도

CPDLC는 <그림 3-6-1-2>와 같이 조종사와 관제사 사이의 항공교통통신(ATC: Air Traffic Control Communication) 업무에서 데이터통신을 활용한 메시지 전송을 가능하게 하는 항공교통서비스 애플리케이션이다.



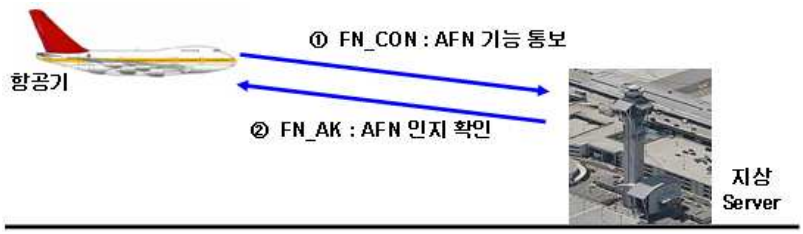
<그림 3-6-1-2> CPDLC 접속 절차 및 운용

ADS는 <그림 3-6-1-3>과 같이 항공기가 항공기의 식별부호, 위치, 속도 정보 등을 지상으로 자동 송신함으로써 감시 및 관제업무에 활용 가능한 항공교통서비스(ATS)의 일종이다.



<그림 3-6-1-3> ADS 접속 절차 및 운용

AFN은 ADS, CPDCL 등의 지상과 항공기가 지원 가능한 항공교통서비스를 식별하고 접속을 지원하기 위해 연결을 설정하고 사전 정보를 교환하는 애플리케이션으로 ICAO 기술표준에서는 CM(Context Management)으로 정의되어 있다. AFN 연결 절차는 <그림 3-6-1-4>와 같다.



<그림 3-6-1-4> AFN 접속 절차 및 운용

PDC는 항공기의 출발 허가(Departure Clearance)를 사전에 데이터통신을 이

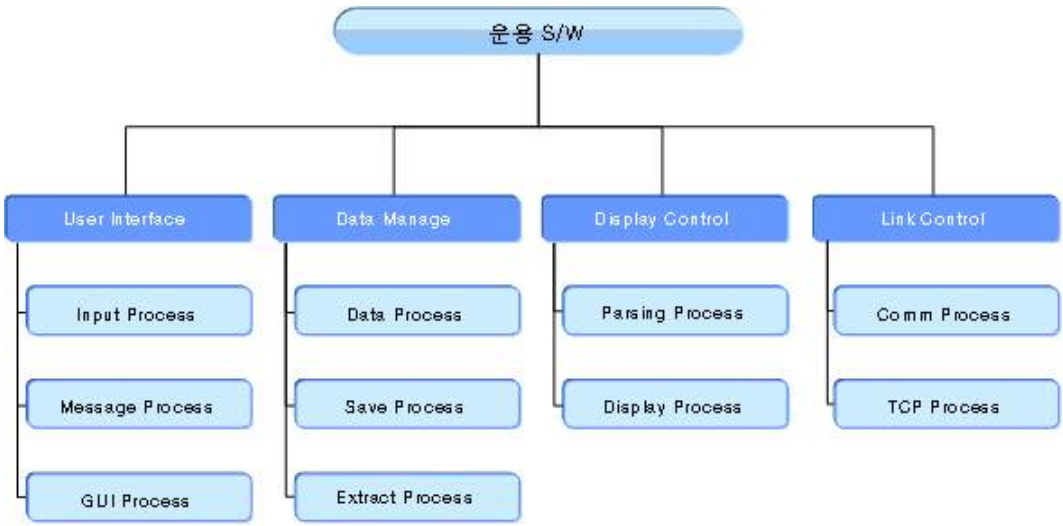
용하여 지원하게 하는 기능으로 기본 접속/통신 절차는 <그림 3-6-1-5>와 같다.



<그림 3-6-1-5> PDC 접속 및 운용 절차

전술한 각 기능을 수행하기 위해 고안된 VDL M2 운용시험장비는 다음과 같은 주요한 특징을 갖고 있다.

- 본 운용시험장비는 항공기에 설치되는 탑재운용시험장비(AAS: Aircraft Application System)와 항공관제기관과 같은 지상국에 설치되는 지상운용시험장비(GAS: Ground Application System)로 구분됨.
- 항공기와 지상국 간의 CPDLC와 ADS메시지는 ICAO 문서에 정의된 메시지 포맷에 따라 설계됨.
- 소프트웨어는 MS Windows 환경에서 구동되도록 Visual C++ 기반으로 작성되었으며, 외부 장비와의 인터페이스는 이더넷 기반으로 구성됨.
- GAS와 AAS의 공통된 소프트웨어 모듈 구성은 <그림 3-6-1-6>와 같음.



<그림 3-6-1-6> 운용소프트웨어 소프트웨어모듈 구성도

- User Interface(UI) : 초기값 설정 및 전송 메시지 및 사용자 인터페이스 처리

- Data Manage (DM) : 송신 데이터를 구조적으로 작성하여 전달하고, 수신한 데이터를 분석하여 DC로 전달하며 송수신 데이터를 저장(GAS은 Database 형식으로 저장하고 AAS는 파일로 저장하는 방식 채택)

- Display Control (DC) : LC로부터 수신된 데이터를 형식에 맞도록 구성하여 화면에 시현하고, 전송할 데이터를 지정된 형식에 맞도록 구성하여 화면 디스플레이 처리

- Link Control (LC) : 외부장비와의 인터페이스 처리. DM / ADS를 위한 GPS Process로부터 전달된 데이터를 전송하거나, 수신된 데이터를 DM에 전달.

○ AAS 하드웨어는 터치패드 입력방식을 지원하는 노트북으로, 보잉사의 B777 기종의 FANS-1 사용자 인터페이스를 기반으로 설계됨.

○ GAS는 산업용 PC 기반으로 제작되었으며, 2개의 디스플레이 장치를 통해 CPDDLC를 포함한 메시지 처리와 ADS 항적 도시 기능을 포함함.

2. 탑재운용시험장비(AAS) 설계

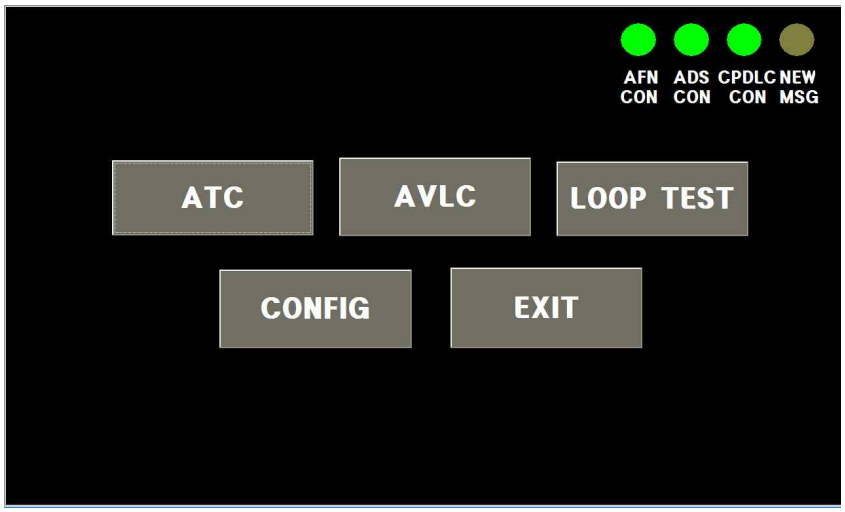
가. 메뉴 구성 및 기능

탑재운용시험장비(AAS: Aircraft Application System)의 사용자 인터페이스는 보잉사 항공기에 탑재된 여러 기종의 FANS-1 시스템의 사용자 인터페이스를 분석한 후, 직관적인 구성이 돋보이는 B777 기종의 사용자 인터페이스를 벤치마킹하여 설계하였다. 사용자인 조종사가 메시지를 텍스트로 직접 입력하는 방식이 아닌 그래픽 인터페이스를 통해 선택을 통해 쉽게 입력이 가능하도록 화면 구성이 트리(Tree) 구조로 설계되었다.

(1) 시작(Start) 화면 / 설정(Configuration) 기능

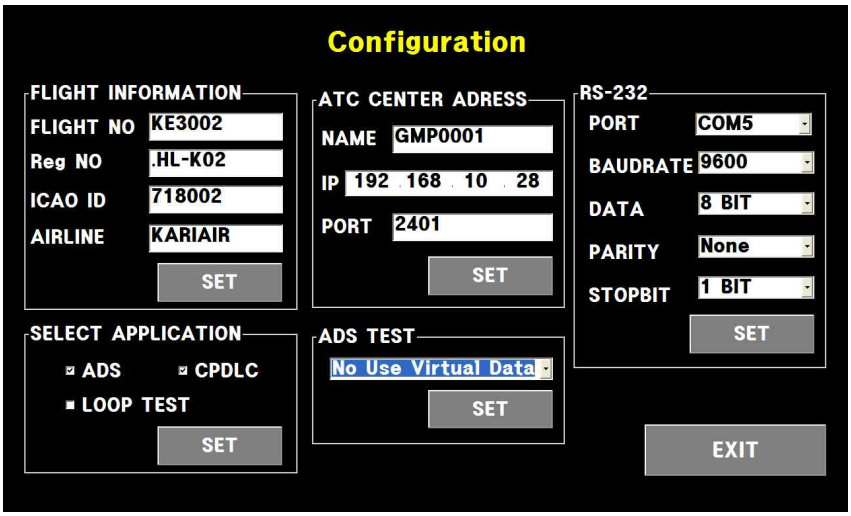
<그림 3-6-2-1>은 AAS의 최초 시작(Start) 화면이다. 초기 시작 화면에서 AAS의 시스템 설정(Configuration)과 상단 3개의 메뉴 버튼을 이용하여 CPDLC (ATC) 통신 기능을 수행하기 위한 하위 메뉴 이동이 가능하다. 프로그램은 EXIT 버튼을 누르면 종료된다.

지상시스템과의 데이터통신을 위한 CPDLC 기능은 ATC 메뉴 내에서만 가능하고, ADS / Loop Test 서비스의 경우 지상과 탑재시스템과의 연결이 완료된 이후 사용이 가능하다.



<그림 3-6-2-1> AAS 시작 화면

<그림 3-6-2-2>의 설정(Configuration) 화면에서는 통신 연결에 관련된 값을 설정할 수 있다. 항공기의 식별 정보, 연결할 ATC 기관 정보, ADS 기능과 관련된 GPS 수신기 연결을 위한 통신 설정이 가능하며, 변경이 없을 시 이전 설정은 계속 유지된다.



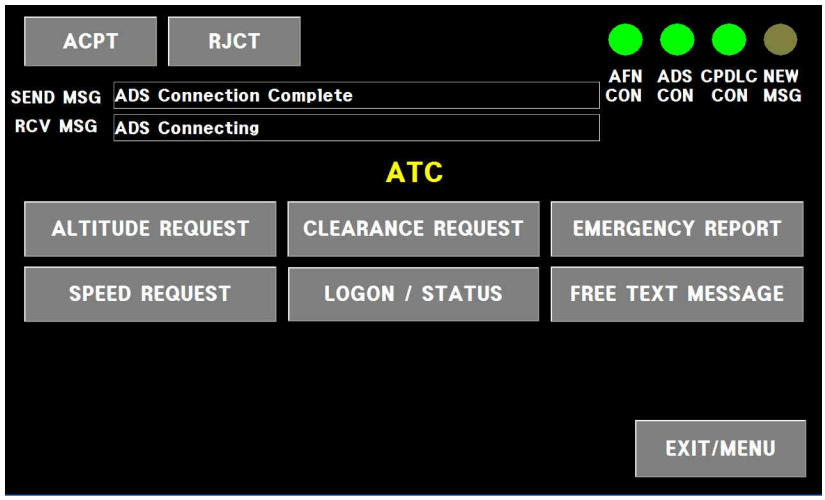
<그림 3-6-2-2> AAS - 설정(Configuration) 화면

(2) ATC (CPDLC) 기능

ATC 데이터통신(CPDLC 기능)과 관련된 기능을 사용자 인터페이스 화면 구성과 함께 아래에서 설명한다.

(가) ATC Main 화면

<그림 3-6-2-3>의 ATC Main 화면을 통해 ATC 데이터통신(CPDLC)을 위한 하위 메뉴를 접근할 수 있도록 사용자 인터페이스가 설계되었다. CPDLC 메시지 종류에 따라 하위 메뉴를 구분하여 설계하여 직관성을 높이고 체계적인 접근이 가능하게 되어 있다.



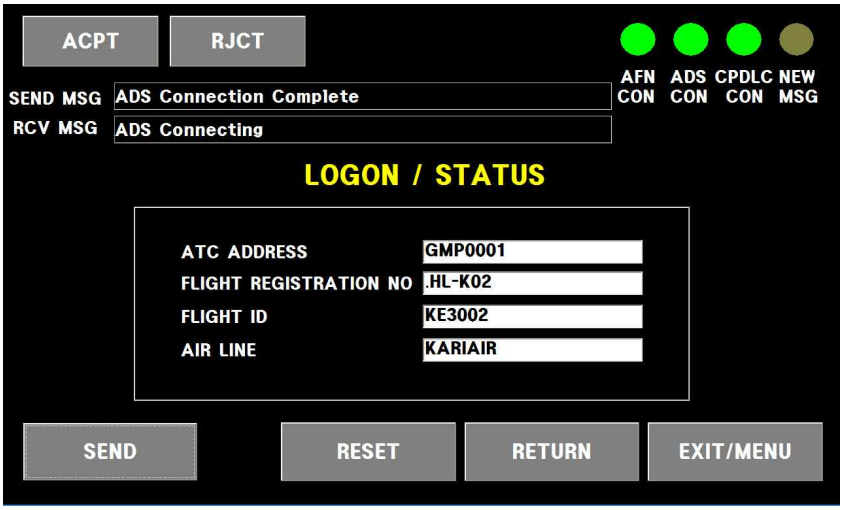
<그림 3-6-2-3> AAS ATC Main 화면

ATC 통신을 위한 CPDLC 기능을 시작하려면 우선 LONON/STATUS 버튼을 눌러 AFN 접속을 시도하여 항공기가 지상시스템에 로그온 되어야 한다.

지상 관제사의 요청(Request)에 대해 조종사가 회신을 필요로 하는 경우에는 화면 상단 왼편에 위치된 ACPT나 RJCT 버튼을 눌러 회신할 수 있는데, 이 두 버튼은 모든 하부 메뉴에서 사용이 빈번하기 때문에 고정된 자리에 배치해 두었다.

상단 오른편에 위치한 4개의 점멸등은 연결 상태와 신규메시지 수신 상태를 표시하는 상태표시 수단으로 모든 화면에서 볼 수 있도록 마련되었다. AFN 연결이 완료된 경우 AFC CON이, ADS 연결 상태인 경우 ADS CON이, CPDCL 연결 중인 경우 CPDLC 점멸등이 녹색으로 점등된다. 항공기로 새로운 메시지가 전달되었을 때에는 언제나 우측 상단의 NEW MSG LED를 지속적으로 점멸하게 함으로써 조종사가 새로운 메시지 수신을 인지할 수 있도록 구성하였다.

(나) Logon / Status 화면



<그림 3-6-2-4> AAS - Logon / Status 화면

① 정의

AAS 구동 후 지상과의 통신 연결을 위한 로그온 작업에 필요한 정보를 확인하고 AFN, CPDLC, ADS 연결을 시작하는 화면이다.

설정(Configuration) 화면을 통해 <그림 3-6-2-4>의 LOGON/Status 화면에 필요한 정보를 모두 입력받은 상태이며 이를 확인한 후 SEND 버튼을 누르면 AFN / ADS / CPDLC 접속(Connection)이 순차적으로 이루어지며, 연결 상태가 화면 상단에 표시된다.

상단의 SEND MSG / RCV MSG 항목에는 상태 표시와 송수신 메시지가 텍스크 기반으로 표시되는 곳이며, 가장 최근의 메시지가 오버레이되어 표시된다. 신규 메시지가 수신되는 경우 NEW MSG 점멸등이 조종사의 확인이 있을 때까지 계속 점멸함으로써 신규 메시지가 도착했음을 알려준다.

이미 연결이 완료되어있을 때 본 화면을 열게 되면 연결 상태만을 알 수 있다.

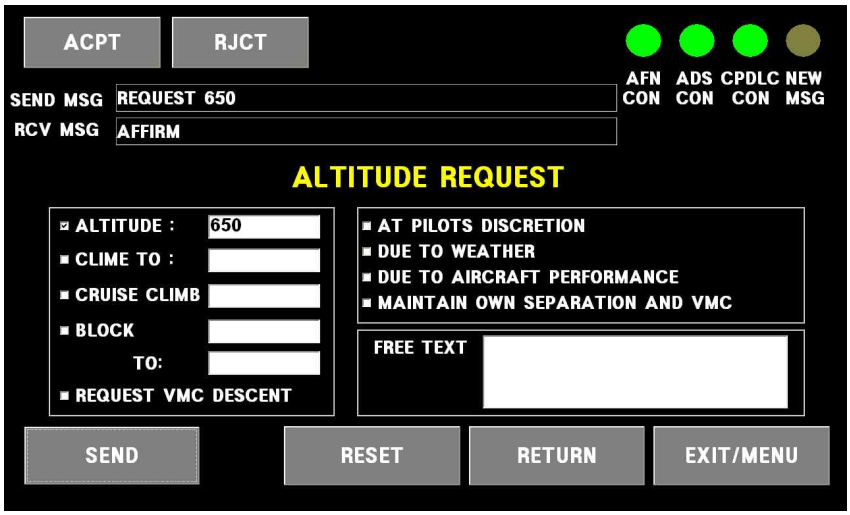
② 구동

입력값을 확인한 후 SEND 버튼을 누르면 정의에서와 같이 AFN / ADS / CPDLC Connection이 순차적으로 진행된다.

이후 RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 이동한다.

EXIT/MENU 버튼을 누르면 시작(Start) 화면으로 복귀한다. 이 때 ATC 통신 연결이 종료되는 것은 아니다.

(다) Altitude Request 화면



<그림 3-6-2-5> AAS - Altitude Request 화면

① 정의

CPDLC 메시지 중 고도(Altitude)에 관한 요청과 관련된 기능을 수행한다.

화면 상단의 SEND MSG / RCV MSG 항목에는 각각 최종 송신/수신된 메시지가 표시되며, 새로운 메시지가 수신되는 경우 NEW MSG 점멸등이 계속 점멸하여 신규 메시지의 수신을 알려 준다.

하단에서는 Altitude Request와 관련된 입력 및 선택 사항을 5가지 항목으로 구분하여 입력하고 선택할 있도록 구성되어 있다. 오른쪽 하단에는 요청 항목에 대한 사유를 부가하여 알릴 수 있는 메시지 항목으로 5가지 중 하나의 항목만 선택되도록 구성되어 있다.

왼쪽의 요청 항목과 오른쪽의 사유 항목은 동시 설정이 가능하고 명령은 고도 요청 항목부터 부가 사유의 순으로 순차적으로 전송된다.

② 구동

조종사는 관련 수치 입력과 선택 항목(사유)을 설정한 후 SEND 버튼을 누름

으로써 해당 메시지가 전송된다. RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 복귀 한다.

RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 이동한다.

EXIT/MENU 버튼을 누르면 시작(Start) 화면으로 복귀한다. 이 때 ATC 통신 연결이 종료되는 것은 아니다.

③ 메시지 종류

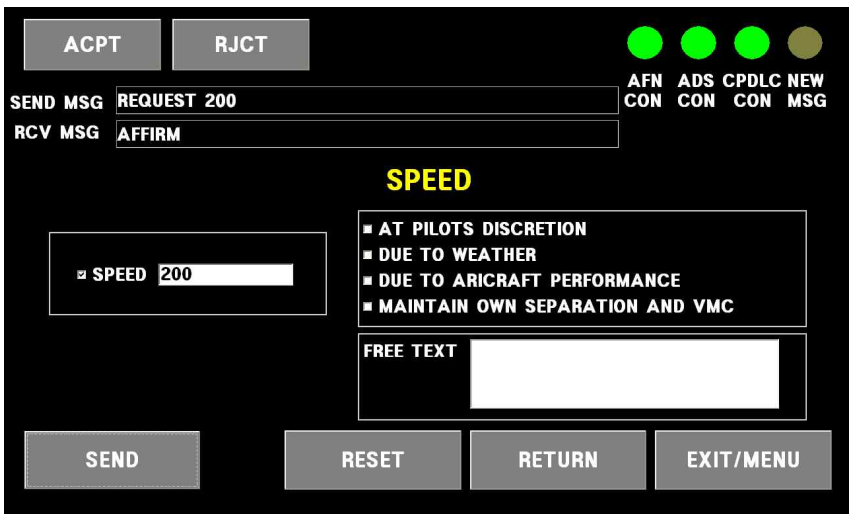
<표 3-6-2-1> Altitude Downlink Request Message 종류

	DM#	Message
Altitude	6	REQUEST [altitude]
	7	REQUEST BLOCK [altitude] TO [altitude]
	8	REQUEST CRUISE CLIMB TO [altitude]
	9	REQUEST CLIMB TO [altitude]
	10	REQUEST DESCENT TO [altitude]
	11	AT [position] REQUEST CLIMB TO [altitude]
	12	AT [position] REQUEST DESCENT TO [altitude]
	13	AT [time] REQUEST CLIMB TO [altitude]
	14	AT [time] REQUEST DESCENT TO [altitude]
	15	REQUEST OFFSET [direction][distance] OF ROUTE
	16	AT [position] REQUEST OFFSET [direction][direction] OF ROUTE
	17	AT [time] REQUEST OFFSET [direction][distance] OF ROUTE
	65	DUE TO WEATHER
	66	DUE TO AIRCRAFT PERFORMANCE
	74	MAINTAIN OWN SEPARATION AND VMC
	75	AT PILOTS DISCRETION
	67	[freetext]

<표 3-6-2-2> Altitude Uplink Request Message 구성

	UM#	Message
Altitude	19	MAINTAIN [altitude]
	20	CLIMB TO AND MAINTAIN [altitude]
	21	AT[time] CLIMB TO AND MAINTAIN[altitude]
	22	AT[position] CLIMB TO AND MAINTAIN[altitude]
	24	AT[time] DESCENT TO AND MAINTAIN[altitude]
	25	AT[poistion] DESCENT TO AND MAINTAIN[altitude]
	30	MAINTAIN BLOCK [altitude] TO [altitude]
	31	CLIMB TO AND MAINTAIN BLOCK [altitude] TO [altitude]
	32	DESCENT TO AND MAINTAIN BLOCK [altitude] TO [altitude]
	33	CRUISE [altitude]
	36	EXPEDITE CLIMB TO [altitude]
	38	IMMEDIATELY CLIMB TO [altitude]
	39	EXPEDITE DESCENT TO [altitude]
	39	IMMEDIATELY DESCENT TO [altitude]
	40	IMMEDIATELY STOP CLIMB AT [altitude]
	41	IMMEDIATELY STOP DESCENT AT [altitude]
	176	MAINTAIN OWN SEPARATION AND VMC
	177	AT PILOTS DISCRETION
	169	[freetext]

(라) Speed Request 화면



<그림 3-6-2-6> AAS - Speed Request 화면

① 정의

CPDLC 메시지 중 속도 변경 요청(Speed Request)과 관련된 기능을 수행한다.

화면 왼편의 수치 입력 필드는 속도 변경 요청시 희망하는 속도값을 입력하는 항목이다. 오른쪽은 속도 변경 요청에 대한 사유를 알리는 부가 메시지 항목으로 5가지 중 하나의 항목만 선택되도록 정의되어 있다.

왼쪽의 속도 변경 요청 항목과 오른쪽의 사유 항목은 동시에 설정이 가능하고 생성되는 메시지는 속도 변경 요청과 부가 사유 항목으로 구성되어 순차적으로 전송된다.

② 구동

조종사가 화면에서 희망 속도와 부가 사유의 선택 항목을 입력하고 확인한 후 SEND 버튼을 누르면 메시지 전송 명령이 수행된다.

RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 이동한다.

EXIT/MENU 버튼을 누르면 시작(Start) 화면으로 복귀한다. 이 때 ATC 통신 연결이 종료되는 것은 아니다.

③ 메시지 종류

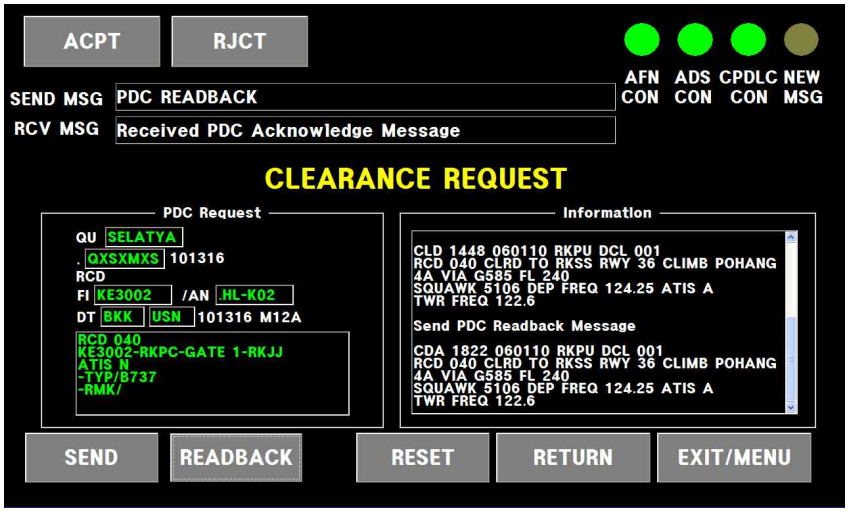
<표 3-6-2-3> Speed Downlink Request Message 구성

	DM#	Message
Speed	18	REQUEST [speed]
	65	DUE TO WEATHER
	66	DUE TO AIRCRAFT PERFORMANCE
	74	MAINTAIN OWN SEPARATION AND VMC
	75	AT PILOTS DISCRETION
	67	[freetext]

<표 3-6-2-4> Speed Uplink Request Message 구성

	UM#	Message
Speed	106	MAINTAIN [speed]
	111	INCREASE SPEED TO [speed]
	113	REDUCE SPEED TO [speed]
	176	MAINTAIN OWN SEPARATION AND VMC
	177	AT PILOTS DISCRETION
	169	[freetext]

(마) Clearance Request - PDC 화면



<그림 3-6-2-7> AAS - Clearance Request 화면

① 정의

Pre-Departure Clearance (PDC) 요청을 수행하는 화면으로 출발 전 항로 또는 이전 통신 정보 등의 정보 삭제가 요청된다. 비행 중에는 설정 불가능한 기능이다.

왼쪽 부분(PDC Request)은 Pre-Departure Clearance 요청 시 사용될 정보를 입력하고 표시하는 부분이다. 오른쪽 부분(Information 창)은 송수신되는 Pre-Departure Clearance 메시지 전체를 보여주는 정보표시창이다.

원래 PDC(or Departure Clearance) 메시지도 CPDLC의 일부로 처리되지만, 본 연구의 민항기 연동 시험에서는 단독 메시지 전송 모드로 테스트를 진행하도록 구성되었다.

② 구동

Pre-Departure Clearance 요청 시 기 설정된 정보를 확인하고 SEND 버튼을 누르면 전송이 시작된다. 이때 오른쪽 정보표시창에 전송 메시지 내용 전체가 표시된다.

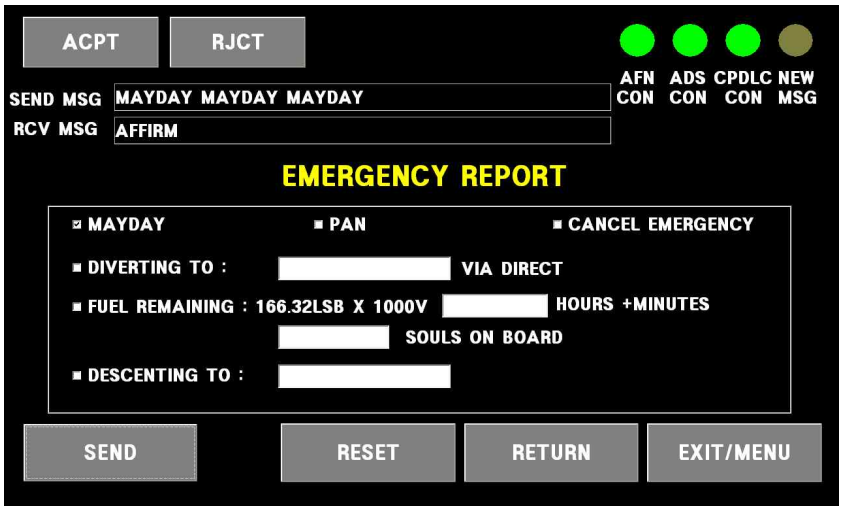
관제사로부터 회신을 받으면 오른쪽 정보표시창에 수신 내용이 표시되고 READBACK 버튼 누름으로 수신된 메시지에 대한 확인(confirm) 메시지를 전송한다. 전송 내용은 다시 오른쪽 정보표시창에 표시되며 Readback 과정까지 종료하면

Pre-Departure Clearance 절차는 종료된다.

RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 이동한다.

EXIT/MENU 버튼을 누르면 시작(Start) 화면으로 복귀한다. 이 때 ATC 통신 연결이 종료되는 것은 아니다.

(바) Emergency Report Request 화면



<그림 3-6-2-8> AAS - Emergency Report 화면

① 정의

CPDLC 메시지 중 비상(Emergency) 상황 발생시 사용하는 비상 보고 메시지와 관련된 화면이다. 비상 보고 메시지는 다른 메시지보다 우선순위가 높다.

② 구동

화면에서 필수 혹은 선택 입력 항목의 값을 지정하고 확인한 후 SEND 버튼 누르면 해당 메시지의 전송 명령이 수행된다.

RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 이동한다.

EXIT/MENU 버튼을 누르면 시작(Start) 화면으로 복귀한다. 이 때 ATC 통신 연결이 종료되는 것은 아니다.

③ 메시지 종류

<표 3-6-2-5> Emergency Downlink Request Message 구성

	DM#	Message
Emergency	55	PAN PAN PAN
	56	MAYDAY MAYDAY MAYDAY
	57	[remaining fuel] OF FUEL REMAINING AND [souls on board] SOULS ON BOARD
	58	CANCEL EMERGENCY
	59	DIVERTING TO [position] or DIVERTING TO [position] VIA [route]
	60	OFFSETTING [direction] [distance offset] OF ROUTE
	61	DESCENDING TO [level]
	68	freetext

<표 3-6-2-6> Emergency Uplink Request Message 구성

	UM#	Message
Emergency	36	EXPEDITE CLIMB TO [altitude]
	38	IMMEDIATELY CLIMB TO [altitude]
	39	EXPEDITE DESCENT TO [altitude]
	39	IMMEDIATELY DESCENT TO [altitude]
	40	IMMEDIATELY STOP CLIMB AT [altitude]
	41	IMMEDIATELY STOP DESCENT AT [altitude]
	98	IMMEDIATELY TURN [direction] HEADING [degrees]
	131	REPORT REMAINING FUEL AND SOULS ON BOARD
	170	[freetext]

(사) Free Text Request 화면



<그림 3-6-2-9> AAS - Free Text Message 화면

① 정의

CPDLC 메시지 중 Free Text 메시지 전송과 관련된 화면이다. 미리 정의된 규정된 형식의 구문이 아닌 조종사가 제한없이 자유구문을 FREE TEXT 필드에 입력 가능하다. 영문 입력시 대소문자 구분없이 입력 가능하지만 전송시 대문자로 변환하여 전송된다. 전송 최대 길이는 200자이다.

② 구동

Free Text 창에 자유 구문을 입력한 후 SEND 버튼을 누르면 해당 메시지의 전송이 수행된다.

RETURN 버튼을 누르면 ATC Main 화면으로 이동한다.

EXIT/MENU 버튼을 누르면 시작(Start) 화면으로 복귀한다. 이 때 ATC 통신 연결이 종료되는 것은 아니다.

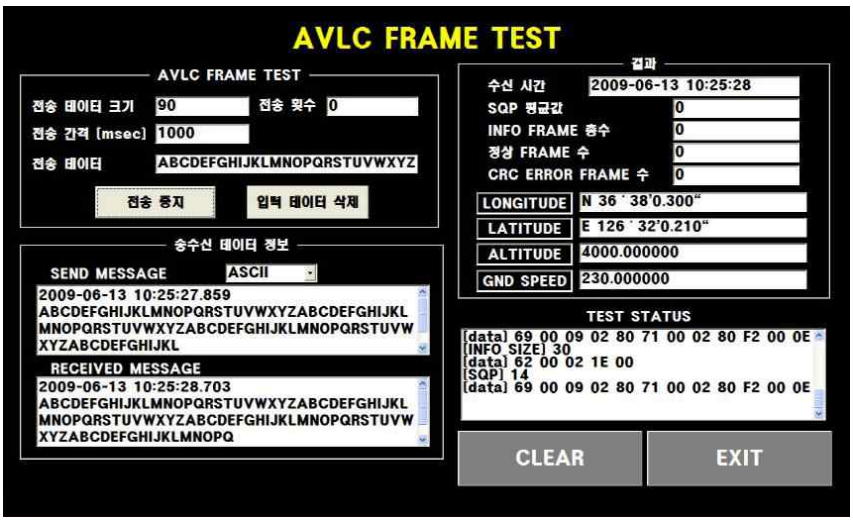
③ 메시지 종류

<표 3-6-2-7> Position Downlink Request Message 구성

	DM#	Message
Free Text	68	[Free Text]

(3) AVLC 프레임 전송시험 화면

(가) AVLC FRAME TEST Main 화면



<그림 3-6-2-10> AAS - AVLC Frame Test 화면

① 정의

지상 및 비행시험과 관련하여 특정 크기의 전송 데이터(AVLC Frame) 크기를 정의하여 데이터 전송율 및 전송 에러 등 개발 시스템의 통신성능을 검증하기 위해 고안된 특별 시험기능을 지원하는 화면이다.

AVLC FRAME TEST 화면을 통해, 전송을 원하는 데이터의 크기, 횟수, 전송 간격, 전송 데이터 내용 등을 설정할 수 있다.

왼편의 송수신 데이터 정보 부분에서는 설정한 AVLC 송수신 데이터의 최종값을 ASCII / HEX 데이터 형태로 보여준다. 오른쪽 상단의 결과 표시창에서는 백그라운드로 수행되는 ADS 메시지 전송을 포함하여 계산된 AVLC Frame 전송 오류r 통계값과 (ADS 메시지 전송을 위해 생성된) 위치와 고도 정보를 표시한다.

TEST STATUS 부분에서는 UDP 통신으로 수신된 실 전송 데이터를 표시한다.

② 구동

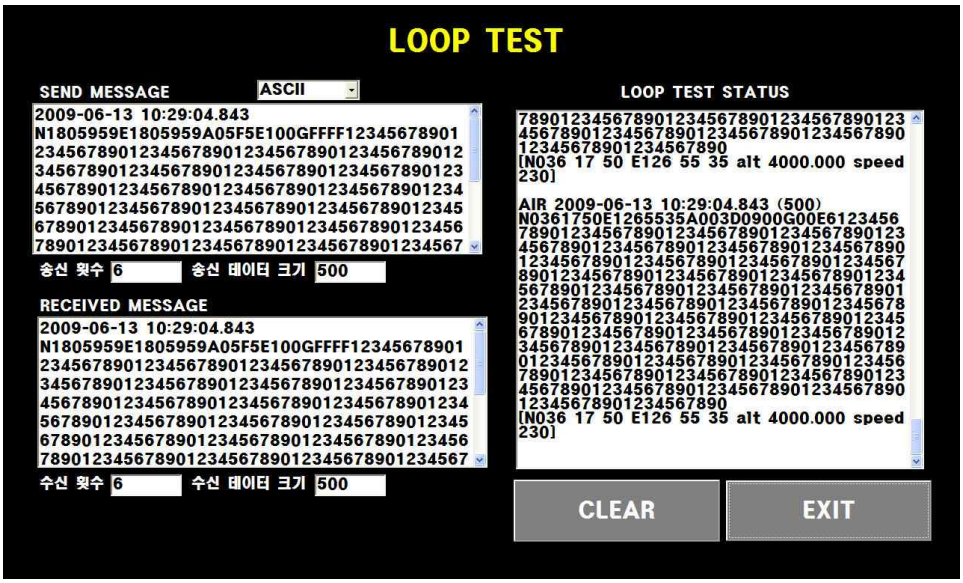
설정값을 입력하고 확인 후 AVLC FRAME TEST 창의 전송 시작 버튼을 누르면 AVLC 데이터 전송이 시작되며, 통계 결과는 자동으로 화면에 업데이트된다.

데이터 전송이 시작되면 버튼 TEXT 는 [전송 중지]로 표시되고, 전송 중지 버튼을 누르는 순간 데이터 통신이 중지된다.

EXIT 버튼을 누르면, ATC Main 화면으로 복귀할 뿐 통신을 중지시키지 않는다. CLEAR 버튼을 누르면 송수신 데이터 정보창의 송수신 메시지들이 삭제된다.

(4) LOOP TEST 기능

(가) LOOP TEST Main 화면



<그림 3-6-2-11> AAS - Loop Test 화면

① 정의

Loop Test 시험을 통해 장비성능을 검증하기 위해 고안된 화면이다. LOOP TEST는 GAS(Ground Application System)에서만 시작이 가능하다.

왼쪽 메시지 부분에서는 송수신 최종 메시지를 표시하고 오른쪽 STATUS 에서는 전체 내용 즉 전송 데이터, 위치 정보, 송수신 시간을 표시한다.

② 구동

LOOP TEST 는 수신된 데이터를 바로 Loopback 해주는 방식을 사용하므로,

전송 데이터 설정에 대한 부분이 제외되었다.

EXIT 버튼을 누르면 화면이 ATC Main 화면으로 전환할 뿐이고 통신을 중지시키지 않는다. CLEAR 버튼을 누르면면 송수신 데이터 정보의 표시 정보가 삭제된다.

3. 지상운용시험장비(GAS) 설계

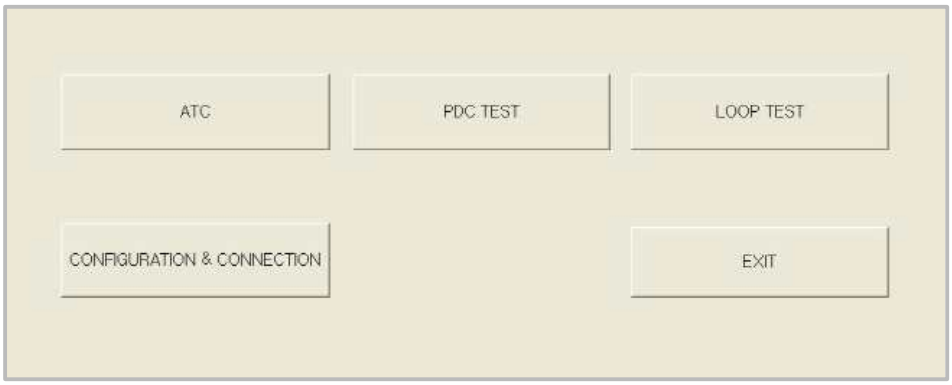
가. 메뉴 구성 및 기능

지상운용시험장비(GAS: Ground Application System)는 탑재운용시험장비(AAS)와의 연동을 고려하여 설계하였다. CPDLC 통신 데이터 현시를 위한 디스플레이와 ADS 정보 시현을 위한 디스플레이를 별도로 구성하였으며, ATC 통신관련 기능의 경우, 사용자는 메시지를 텍스트로 직접 입력하는 방식이 아닌 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 통해 선택을 통해 쉽게 입력이 가능하도록 화면 구성이 트리(Tree) 구조로 구성되었다. 항공기로부터 전송된 ADS 메시지를 기반으로 전용의 디스플레이에서 항공기정보와 함께 궤적을 생성하여 표시할 수 있도록 설계되었다.

(1) 시작(Start) 화면 및 설정(Configuration) 기능

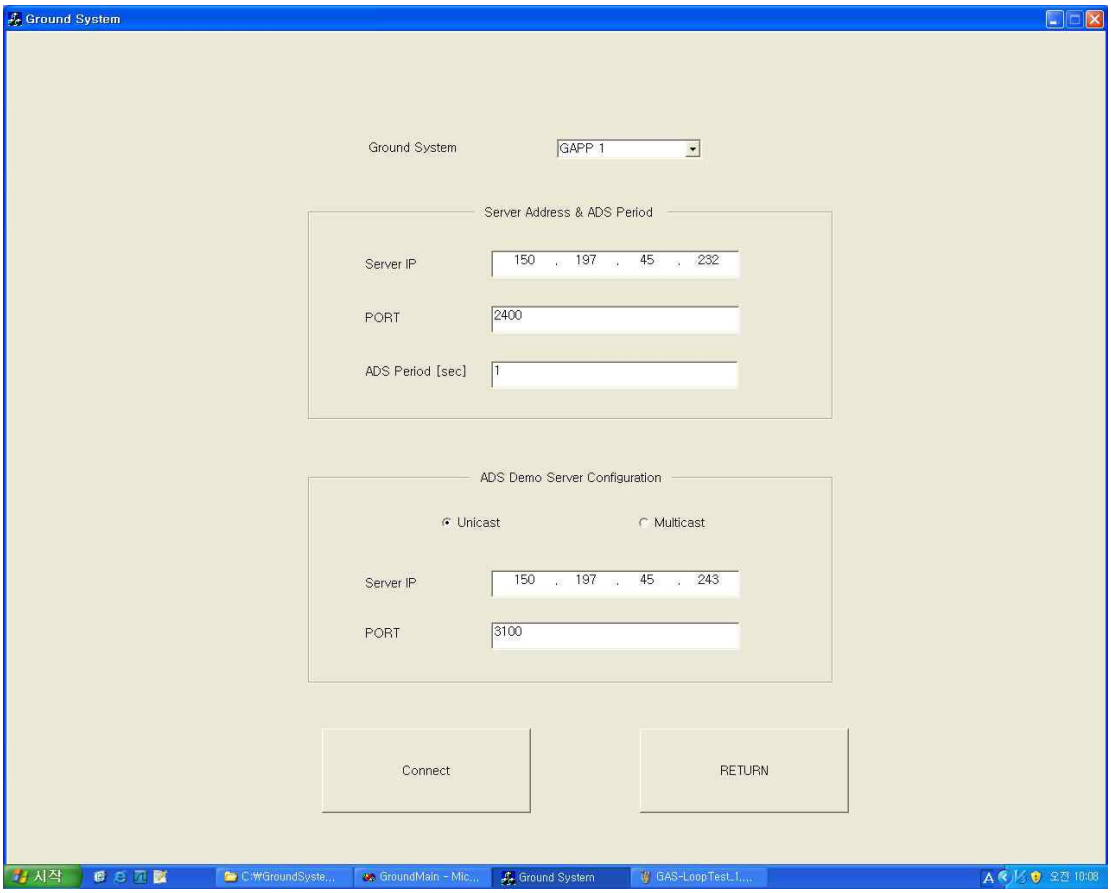
<그림 3-6-3-1>은 Ground Application System(GAS)의 초기 시작(Start) 화면이다. 상단의 ATC / PDC TEST / LOOP TEST 세 가지의 메뉴 선택 버튼은 통신 연결이 완료된 후에 접근이 가능한 항목이다.

통신 연결은 하단의 메뉴인 CONFIGURATION&CONNECTION 버튼 누름으로 연결할 서버 등의 설정이 완료된 후 체결 가능하다.



<그림 3-6-3-1> GAS 시작(Start) 화면

먼저 통신 체결을 위해 CONFIG&CONNECTION 버튼을 누르면, <그림 3-6-3-2>와 같은 설정(Configuration) 화면이 나타난다.



<그림 3-6-3-2> GAS 설정(Configuration) 화면

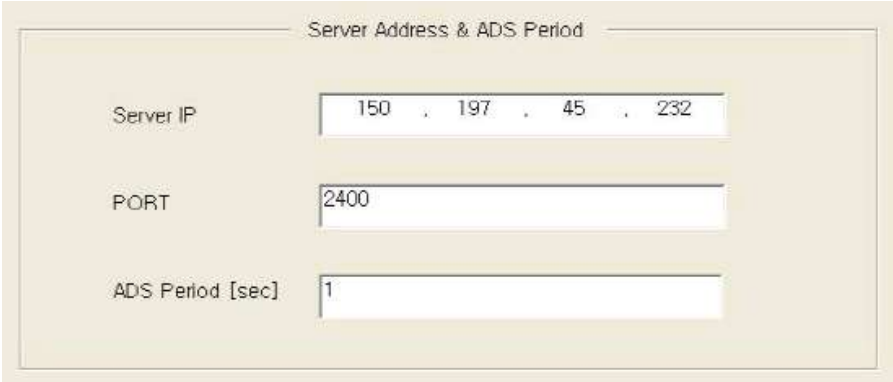
ATC 통신과 관련하여 한 대의 PC에서 최대 3개의 Ground Application

System 프로그램이 구동 가능하도록 설계되었다. GAS에서 수신된 메시지 정보는 데이터 저장을 위해 SQL 데이터베이스에 저장된다.

각 하나의 터미널(Terminal)로 가상 동작이 가능하도록 구현된 프로그램이므로 각 구동되는 애플리케이션의 정보를 따로 저장하도록 구성되어있기 때문에 <그림 3-6-3-3>과 같이 SQL 데이터베이스 종류를 중복되지 않게 선택할 수 있다.

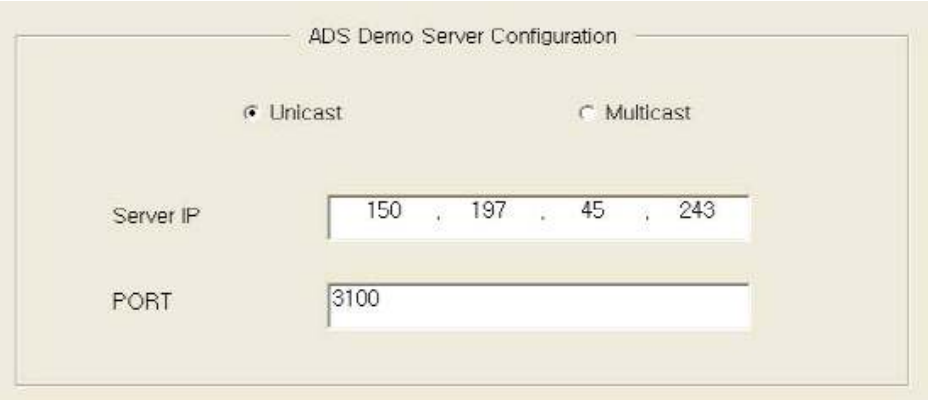


<그림 3-6-3-3> 설정 화면 - Database 설정



<그림 3-6-3-4> 설정 화면 - 연결 DSP 서버 및 ADS 주기 설정

<그림 3-6-3-4>과 같이 연결할 DSP 서버의 통신 설정(IP와 Port 설정)이 가능하고, 항공기의 AAS가 ADS 서비스를 지원하는 경우 어떤 주기로 데이터를 전송하게 할지를 본 설정에서 결정한다.



<그림 3-6-3-5> 설정 화면 - ADS 정보 Display 서버 설정

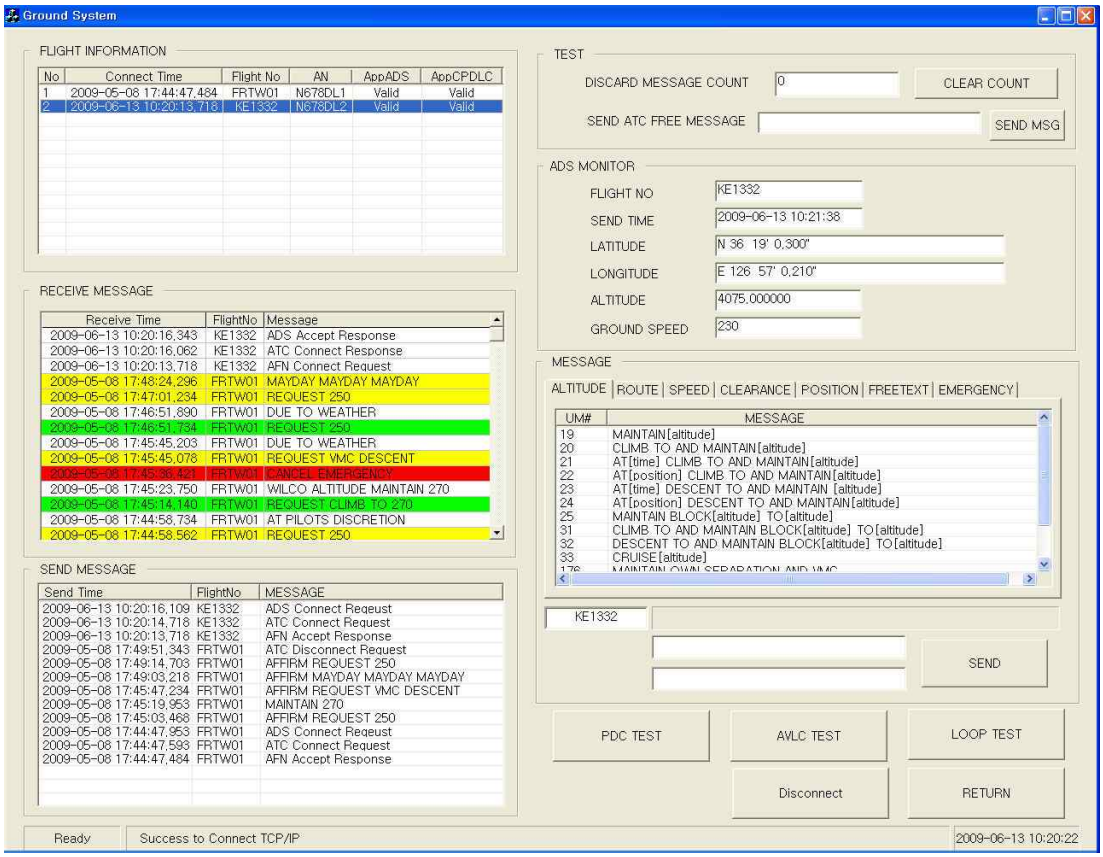
AAS에서 전송하는 ADS 데이터를 이용하여 항공기 정보와 비행궤적을 지도상에 도시하기 위해 별도로 마련된 PC와 UDP 통신을 사용하게 되는데, 이를 위해 <그림 3-6-3-5>와 같이 해당 컴퓨터와의 통신 설정을 수행한다.

(2) ATC (CPDLC) 기능

<그림 3-6-3-6>은 CPDLC 통신을 위주로 구성된 ATC Main 화면이다.

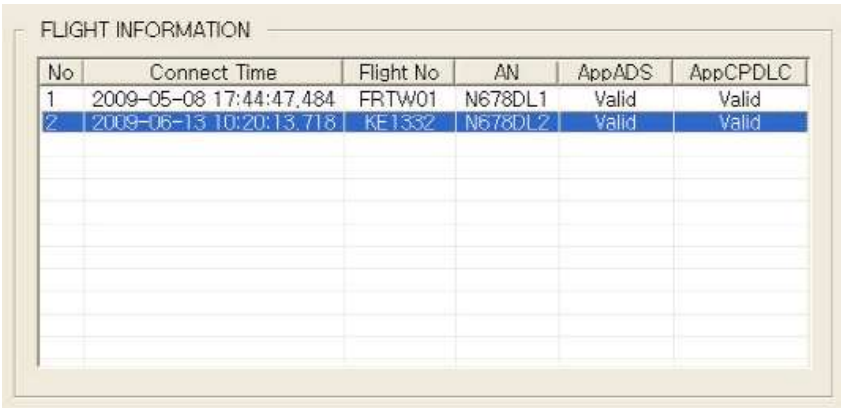
지상시스템에 접속된 항공기 정보를 비롯하여, 해당 항공기의 송수신 메시지 내역 확인이 가능하며, 항공기로의 메시지 전송이 가능하도록 화면 오른편에 종류별로 구분된 입력 전용의 Message Tab 을 위치시켰다.

또한 이 화면을 통해서 연결된 항공기에 대한 ADS 정보를 텍스크 기반으로 모니터링할 수 있다.



<그림 3-6-3-6> GAS ATC Main 화면

(가) 접속 비행정보 (Flight Information) 표시



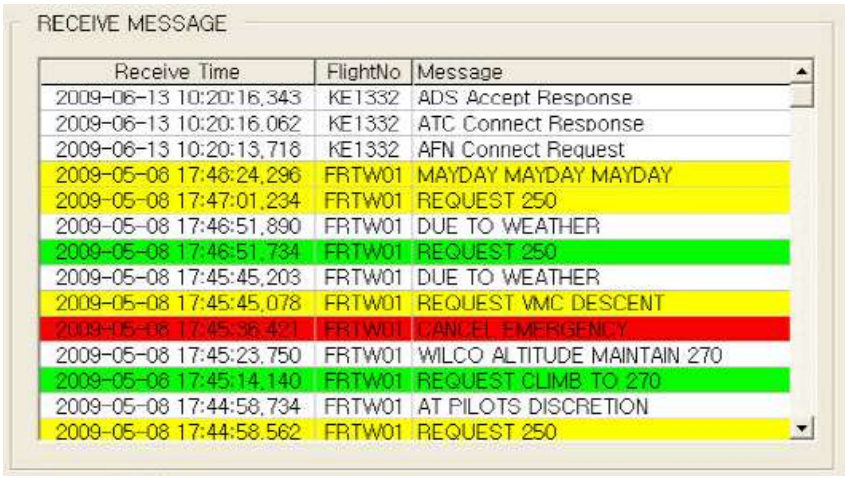
<그림 3-6-3-7> 접속 항공기의 비행정보 표시창

GAS는 여러 대의 항공기가 동시에 접속할 수 있는 가상 터미널(Terminal)의 형태이다. 그러므로 화면 왼쪽 상단에 접속한 항공기의 정보를 일목요연하게 표시

할 필요가 있어 <그림 3-6-3-7>과 같이 비행정보 표시창을 마련해 두었다. 이 창을 통해 항공기의 접속 시간, 편명(Flight No.) 및 Tail Number, 항공기가 지원하는 애플리케이션의 종류 정보를 표시해 준다.

접속된 모든 항공기의 송수신 메시지는 메인 화면 왼편 하단의 Send/Receive Message 리스트에서 업데이트 된다.

(나) 수신 메시지 목록 (Receive Message List) 표시



<그림 3-6-3-8> GAS - Receive Message 목록창

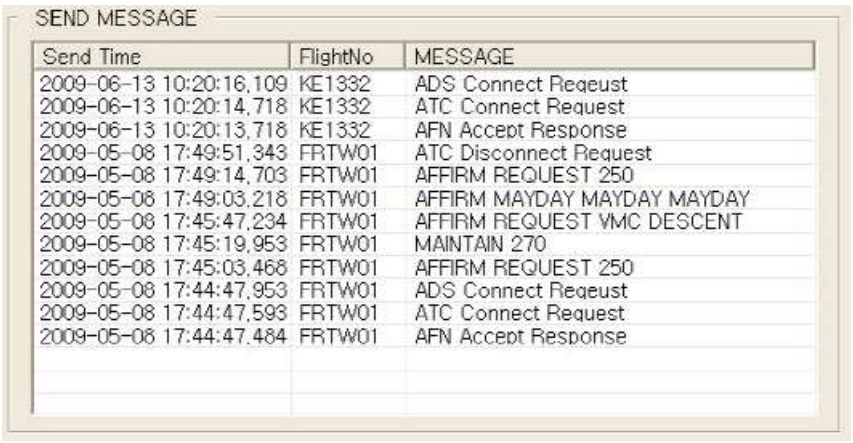
Receive Message 리스트에는 가장 최근에 도착한 메시지가 최상단에 표시되도록 시간 순으로 수신된 정보를 보여준다.

수신 메시지 중 회신(Response)이 필요한 메시지의 경우, 텍스트 배경이 초록색으로 표시되며, 해당 메시지를 선택하면 회신(Response)할 수 있는 메시지 전송창이 팝업(Pop-up) 된다. 이때 해당 회신 메시지 전송이 완료되면 메시지의 배경색이 노란색으로 변경 적용된다.

수신 메시지가 비상(Emergency) 메시지인 경우, 해당 메시지의 배경색이 빨간색으로 표시되며, 마찬가지로 회신(Response) 메시지 전송이 완료되면 해당 메시지의 배경색이 노란색으로 변경 적용된다.

회신(Response)이 필요 없는 메시지에 대해서는 배경색이 없게 구분하였다.

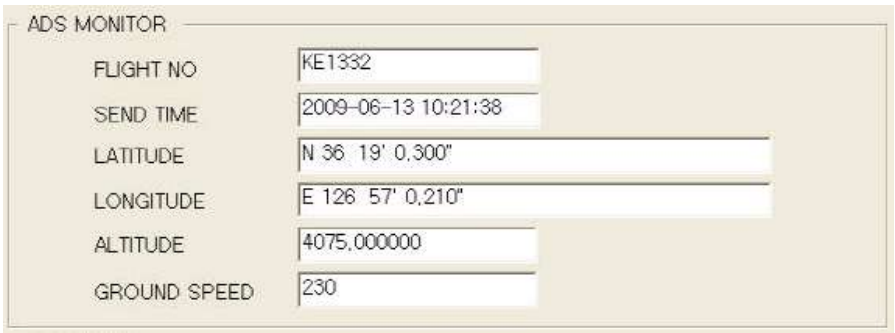
(다) 발신 메시지 목록 (Send Message List) 표시



<그림 3-6-3-9> GAS - Send Message 목록창

Send Message 리스트에는 가장 최근에 전송한 메시지를 최상위로 정렬하여 시간 순으로 발송된 메시지들을 보여준다.

(라) ADS Monitor 정보 표시



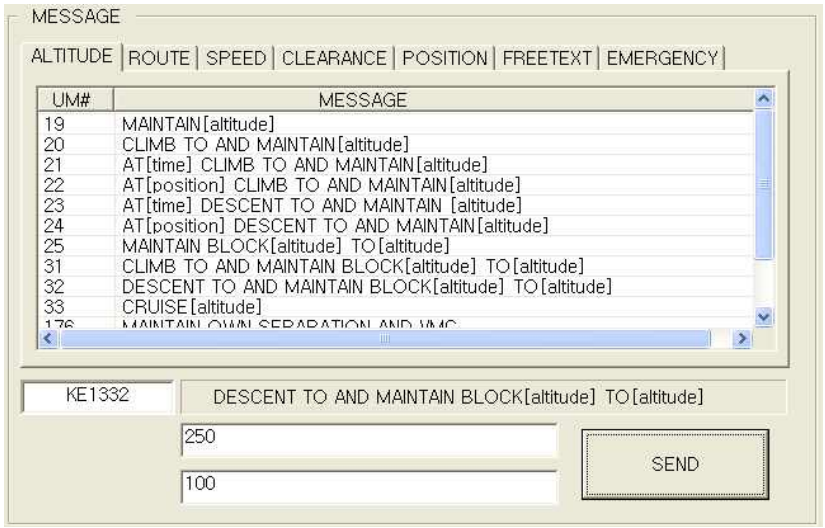
<그림 3-6-3-10> ADS Monitor 정보 표시

항공기가 지상시스템에 접속할 때에는 해당 항공기가 어떤 애플리케이션(Application)을 지원할지를 선택하여 최초 AFN 연결(Connection) 정보에 이를 포함하여 송신한다. 이때 ADS 애플리케이션을 지원하는 경우 <그림 3-6-3-10>과 같이 GAS에서 이 값을 모니터링할 수 있다.

지상시스템에 접속된 항공기가 1대인 경우, 해당 항공기의 ADS 정보를 기본적으로 모니터링하게 된다. 여러 대의 항공기가 동시에 접속되어 있는 경우, 모니터링하고자 하는 항공기를 <그림 3-6-3-7>의 목록창에서 선택하면 해당 항공기의 지속적인 모니터링이 가능하다.

표시 단위는 GPS 수신 형식과 동일하게, 고도값(Altitude)은 [m]이고, Ground Speed는 [knot]로 설정되어 있다.

(마) CPDLC 메시지 전송 목록창



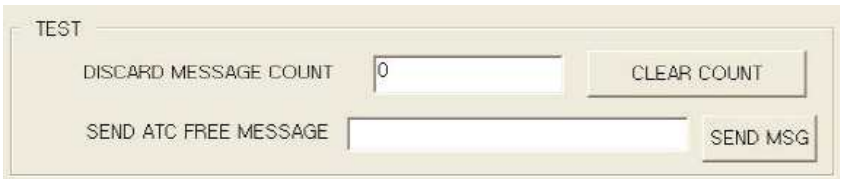
<그림 3-6-3-11> CPDLC Message 전송 List

GAS(Ground Application System)가 AAS(Aircraft Application System)로 CPDLC 메시지를 전송할 때에는, <그림 3-6-3-11>과 같은 전송 MESSAGE 창에서 메시지 종류탭을 선택하여 기 정의된 메시지 형식을 선택하고 고도 데이터 등 인수([]안에 필요한 parameter)값을 하단 필드에 입력하는 방식으로 메시지를 생성하여 전송하도록 설계되었다..

메시지 탭은 AAS와 유사한 방식으로 Altitude / Route / Speed / Clearance / Position / Freetext / Emergency 탭으로 구분하였다.

접속한 항공기를 먼저 선택하고, 전송하고자 하는 CPDLC Message를 전술한 방법으로 선택하고 인수 값을 입력한 후 SEND 버튼 누름을 한다. 전송 메시지는 Send Message List에 항상 표시된다.

(바) Test 상태 간략 확인

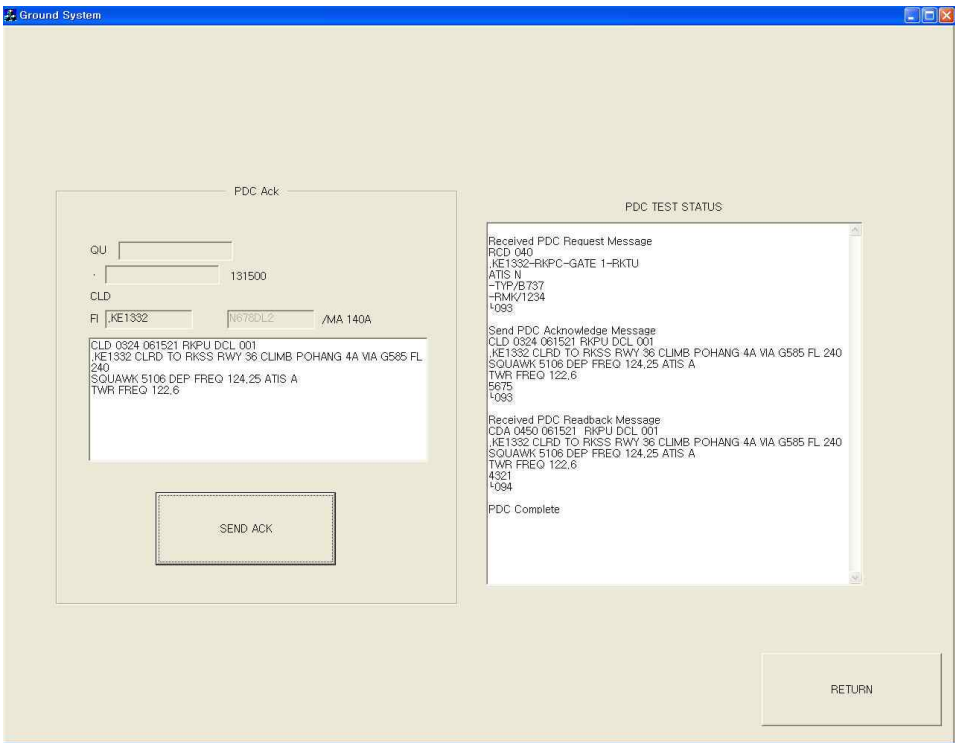


<그림 3-6-3-12> 통신 데이터 Error Count 및 Free Text 전송

운용 중 간략하게 통신 데이터 상태를 알 수 있도록 전체 전송되는 메시지 중 패킷(packet)에 오류가 있거나 정상 전송이 되지 않은 경우, 사용자가 통신 상태를 인지하도록 하기 위해 버려진(discarded) 메시지 수를 표시해준다. 추가로 간단하게 CPDLC FreeText 메시지만을 전송할 수 있도록 전면에 배치하여 사용가능하도록 지원한다. 관제사를 위한 가장 이상적인 CPDLC 메시지 표시 및 전송방식은 일반적인 관제화면에 오버레이하여 표시하는 방식일 것이나 개발 환경과 일정상의 문제로, 대신에 전술한 바와 같이 CPDLC 메시지 처리화면을 설계하였다.

(3) PDC 기능

(가) PDC TEST Main 화면



<그림 3-6-3-13> PDC Test 화면

Pre-Departure Clearance (PDC) 요청을 수행하는 화면으로, 출발 전 항공기로부터 항로 허가 또는 이전 통신 정보 등의 정보 삭제를 요청 받는다. PDC는 비행 중에는 설정 불가능한 옵션이다.

<그림 3-6-3-13>의 PDC Test 화면 왼쪽은 Pre-Departure Clearance 요청 시 사용할 정보를 표시하는 부분이다. 오른쪽은 송수신되는 Pre-Departure Clearance 메시지 전체를 보여주는 목록창이다.

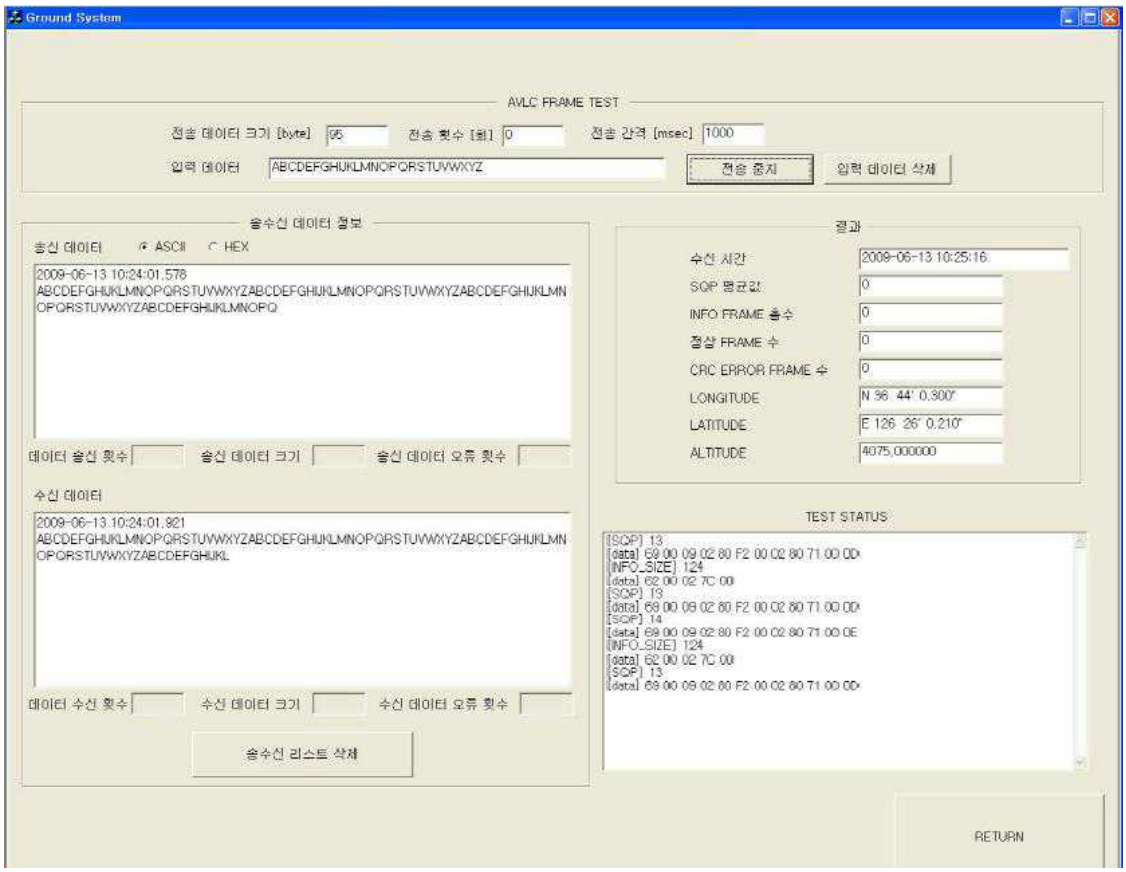
원래는 ATC 내부 메시지로 처리해야 하지만 본 과제의 민항기 연동 시험의 일환으로 단독 메시지 전송 모드로 테스트를 수행하도록 설계하였다. 항공기에서 Pre-Departure Clearance 요청이 전송되면 PDC Ack 부분에 전송할 내용이 표시된다. 관제사가 SEND 버튼 누름으로 응답과 복창(Readback)을 요청한다. 항공기에서 복창(Readback) 메시지를 보내오면 PDC 절차가 종료된다.

송수신 내용은 오른쪽 메시지 창에 내용이 순차적으로 표시되어 진행 확인이

가능하다. RETURN 버튼 누름을 하면 ATC Main 화면으로 이동한다.

(4) AVLC 프레임 전송 시험 기능

(가) AVLC FRAME TEST Main



<그림 3-6-3-14> GAS - AVLC Frame Test 화면

지상 및 비행시험과 관련하여 특정 크기의 전송 데이터(AVLC 프레임) 크기를 정의하여 개발 시스템의 송수신 데이터 전송율 및 전송 에러 등을 확인하기 위해 고안된 특별 시험 기능인 AVLC Frame Test를 지원하는 화면이다.

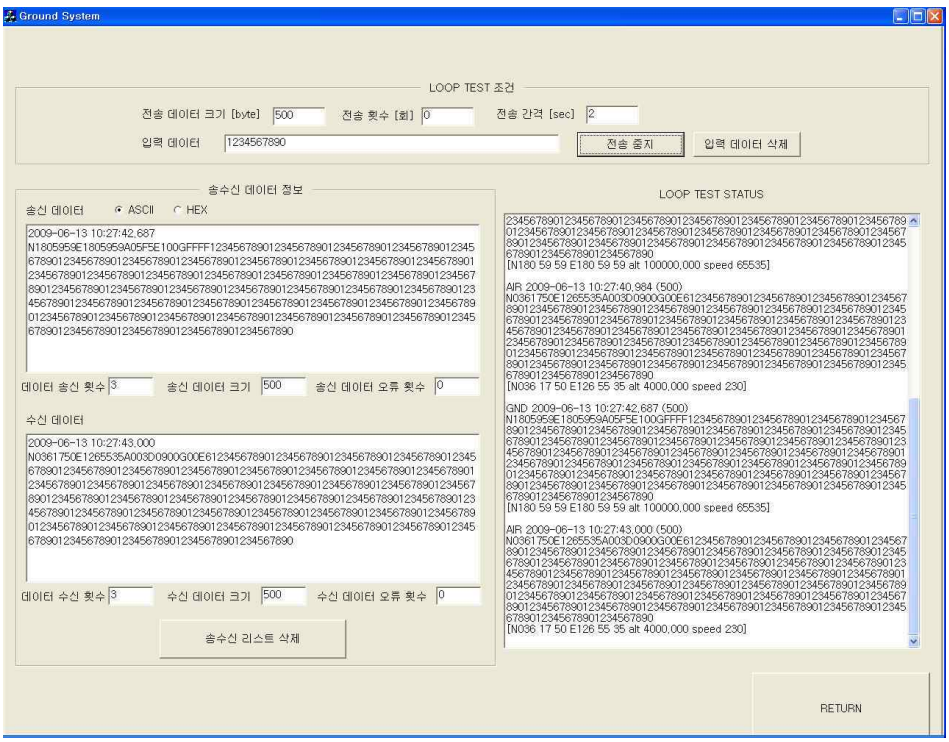
AVLC FRAME TEST 화면을 통해, 전송을 원하는 데이터의 크기, 횟수, 전송 간격, 전송 데이터 내용 등을 설정할 수 있다.

왼편의 송·수신 데이터 정보 부분에서는 설정한 AVLC 송수신 데이터의 최종 값을 ASCII / HEX 데이터 형태로 보여준다. 오른쪽 상단의 결과 표시창에서는 SQP(Signal Quality Parameter) 평균값, INFO 프레임 개수, 정상 프레임 개수, 오

류 발생 프레임 개수 및 ADS 보고 메시지를 통해 수신된 위치와 고도 정보를 표시한다. TEST STATUS 부분에서는 UDP 통신으로 수신된 실제 전송 데이터를 표시한다. AVLC FRAME TEST 화면에서 “전송 시작” 버튼을 누르면 AVLC 프레임 전송시험을 위한 데이터 전송이 시작되며, 관련 정보는 자동으로 화면에 업데이트된다. 데이터 전송이 시작되면 “전송 시작” 버튼은 [전송 중지]로 표시되고, 전송 중지 버튼 누름 시 데이터 통신이 정지된다.

(5) LOOP TEST 기능

(가) LOOP TEST Main 화면



<그림 3-6-3-15> Loop Test Frame

Loop-back 방식의 통신시험을 통해 장비 성능을 하기 위해 고안된 기능이다. LOOP TEST는 선택된 항공기에 대해서 오직 GAS에서만 시작이 가능하다.

왼쪽 메시지 부분에서는 송수신 최종 메시지를 표시하고 오른쪽 STATUS 에서는 전체 내용 즉 전송 데이터, 위치 정보, 송수신 시간을 표시한다.

EXIT 버튼을 누르면 화면은 ATC Main 화면으로 복귀한다. CLEAR 버튼을

누르면 기존에 표시된 송수신 데이터 정보가 화면에서 삭제된다.

(6) ADS 데이터 표시 및 궤적 시연 기능

VDL M2 운용시험을 위한 지상운용시험장비(GAS)의 일부분으로 ADS 데이터 다중항적 지도현시가 가능하도록 별도의 디스플레이와 장비를 설계 제작하였다. 본 시스템은 항공기로부터 전송받은 ADS-C 데이터로부터 항공기의 위치, 자세 정보 등을 지도상에 다중 항적으로 도시하고 관리하는 것으로, 지도처리 소프트웨어 기능, 항적관리 기능, 저장 및 재연 기능 등을 포함하도록 구성 하였다. 주요 기능은 다음과 같다.

○ 지도 데이터 도시

- CVRRG 지도 데이터를 윈도우 그래픽으로 표현함.
- 화면에 도시된 CVRRG 지도에 대한 고도 정보를 표시함. 항우연에서 제공한 UTM 좌표별 고도 데이터 사용.
- 도시된 지도 화면 위에 마우스 위치에 대한 UTM 좌표와 고도 정보가 도시됨.

○ 지도 데이터의 가공

- 지도의 축적변경 및 확대, 축소 기능
- 지도이동 버튼을 이용한 지도의 상, 하, 좌, 우 이동 기능
- 마우스 끌기 기능을 이용한 지도의 이동 기능
- 지도 채색 변경 기능

○ 외부 인터페이스

- CPDLC용 PC와 이더넷으로 연결되며, Unicast 및 Multicast 두 가지 모드로 ADS 데이터를 수신할 수 있음.

○ 데이터 중첩기능

- 다중 항공기의 ADS 위치 및 자세 정보를 그래픽으로 지도 화면 위에 도

시함. 항공기의 위치는 UTM 또는 GP 좌표로 수신될 수 있으며, 수신된 데이터는 사용자 제어에 따라 UTM 또는 GP 좌표값으로 변환되어 도시됨.

- 다중 항공기의 항공기별 항적을 지도화면 위에 도시
- 비행영역, 비행금지구역 등을 설정하고, 지도화면 위에 도시

○ 항공기 도시 및 항적관리 기능

- 다중 항공기의 항공기별 항적관리 기능(항적 생성, 항적 변경, 항적 삭제)을 포함.
- 항공기는 구분되는 아이콘으로 표시.
- 항공기 도시와 함께 항공기별 ID, 위치, 속도, 고도, Flight No, 공항정보 등을 텍스트 형태로 지도위에 도시하는 기능을 제공.
- 항공기의 항적 및 관련 정보에 대한 저장기능.
- 저장된 데이터는 소프트웨어상에서 재연 가능.
- 현재 사용되고 있는 항공기 목록과 상태를 표시.

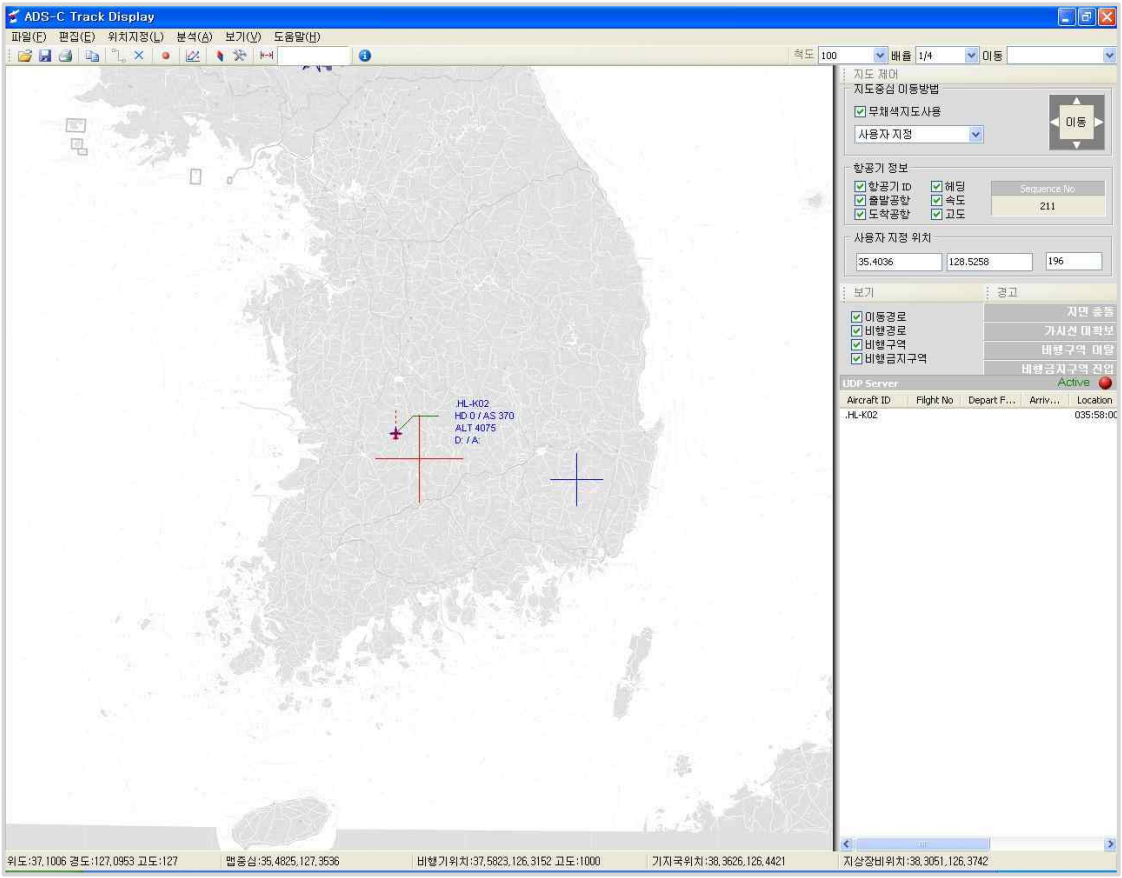
○ 지도제어 메뉴

- 지도의 확대, 축소 기능을 제공
- 지도의 이동은 마우스 이동, 좌표 이동, 지명 이동 기능을 보유
- 설정된 지도화면은 저장가능
- 저장된 지도 설정을 불러올 수 있음.
- 지도화면 설정에 대한 저장파일은 텍스트 형태를 지원.

(가) 실행 화면

<그림 3-6-3-16>은 ADS-B 데이터 및 궤적도시 소프트웨어의 실행 화면이다. 왼쪽에 지도와 항공기 데이터 및 궤적정보가 중첩되어 시현되고 오른쪽에는 지도 등의 설정과 항공기정보, 통신 상태를 확인할 수 있는 메뉴와 정보창으로 구성되어

있다.



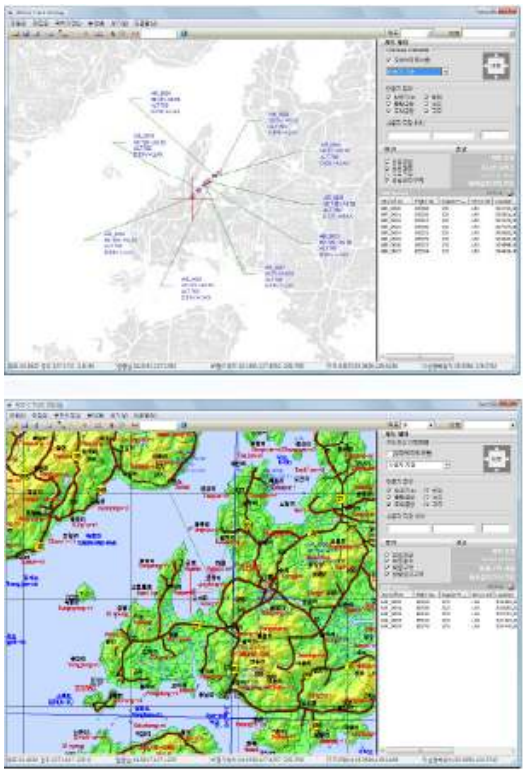
<그림 3-6-3-16> ADS-B 데이터 및 궤적도시 S/W 구동 화면

(나) 지도 표시 화면

지도는 1:50,000에서 1:1,000,000 까지 총 다섯 단계의 축적에 따른 별도의 지도 데이터베이스를 갖는다. 지도 제어 툴바에서 축적을 선택하면 데이터베이스에서 해당 축적에 대한 정보를 가져오고, 사용자가 지정한 중심좌표 또는 기본값에 의한 중심좌표를 기준으로 화면상에 도시될 지도 목록을 불러온다. 지도는 256*256 크기의 타일 구조를 가진다. 지도 화면의 이동은 사용자가 지정한 위치(지역 명)을 중심으로의 이동, 마우스 끌기에 의한 이동 맵 스크롤 버튼에 의한 이동이 가능하다.

항우연에서 보유하고 있는 지도는 채색의 변경이 가능한데, 기본적으로 무채색 지도와 채색 지도를 가지고 있다. 무채색 지도의 경우, 별도로 정의된 팔레트 구성을 따르도록 되어있기 때문에, 지도를 불러올 때 무채색인지 채색인지를 구별하여 불러오게 된다. 채색 지도에서도 사용자의 요구에 따라 색상 변경이 가능한데, 이는 초기화 파일에 저장되거나, 사용자 인터페이스 환경에 의해 선택가능하다. <그

림 3-6-3-17>은 무채색 지도와 채색 지도의 예를 보인 것이다.



<그림 3-6-3-17> 무채색/채색 지도 표시

(다) 항적관리 및 항공기 목록

본 소프트웨어는 다중 항공기에 대한 항적을 관리하므로, 항공기 목록과 해당 항적이 어디에 위치하는지를 표시하여 사용자의 가독성을 높일 필요가 있다. 항공기 목록은 표 형태로 도시하여, 사용자가 항공기 항목이 추가, 제거, 업데이트됨을 확인할 수 있도록 하고, 항공기 목록에서 하나를 선택하면 해당 항공기의 항적이 하이라이트 되어 지도상에 표시될 수 있다.

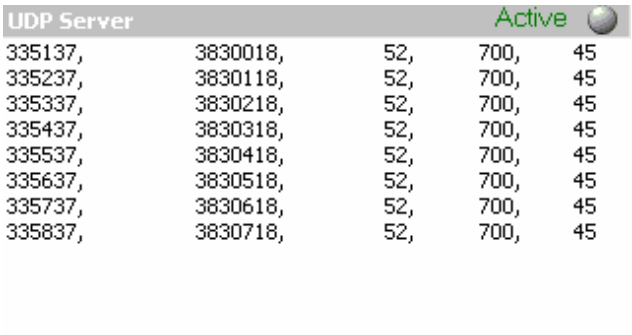
(라) 지도 도시 제어 메뉴

지도 도시 제어 메뉴는 지도의 스크롤 버튼, 확대 축소 버튼 등의 (나) 항에서 필요로 하는 모든 기능에 대한 사용자 인터페이스를 제공한다.

(마) UDP 상태 도시 화면

다중항적 지도현시 소프트웨어는 UDP 통신을 통해 운용시험장비 서버로부터

데이터를 수신한다. 이를 확인하기 위하여 UDP 통신의 데이터가 정상적으로 수신되는지, 해당 데이터는 무엇인지를 실시간으로 도시하는 기능을 갖는다. UDP 서버 화면에는 운용시험자비 서버에서 수신되는 데이터를 분석하여 <그림 3-6-3-18>과 같이 사용자가 읽을 수 있는 형태로 표시하며 UDP 서버와 접속이 완료되면 LED에 초록색 불을 켜서 표시하고, 접속이 중단된 상태(수 초 내에 데이터 전송이 없으면) LED를 적색으로 표시한다.



<그림 3-6-3-18> UDP 상태 도시 화면

(바) 상태 바

상태 바는 마우스 위치, 맵 중심점, 선택된 비행기의 ID, 위치, 기타 정보 등을 도시하는 화면으로, 예를 들면 <그림 3-6-3-19>와 같이 구성된다.



<그림 3-6-3-19> 상태 바

(사) 메뉴 설명

메뉴는 파일, 편집, 위치지정, 분석, 보기, 도움말의 메뉴를 가지며, 그 세부 내용은 다음과 같다.

① [파일] 메뉴



<그림 3-6-3-20> [파일] 메뉴

- 설정 파일 열기 : 현재 설정된 비행구역, 금지구역, 항로, 경로 등 모든 설정 데이터를 저장한다.
- 설정파일 저장 : 현재 설정된 비행구역, 금지구역, 항로, 경로 등 모든 설정 데이터를 저장한다.
- 지도 그림으로 저장 : 현재 지도를 JPEG 포멧으로 저장한다.
- 항적파일 열기 : 저장된 항적파일을 불러 온다.
- 팔래트 파일 열기 : 저장된 팔래트 파일을 불러 온다.
- 지도 인쇄 : 현재 지도를 미리보기 및 프린터로 출력한다.
- 끝내기 : 프로그램을 종료한다.

② [편집] 메뉴



<그림 3-6-3-21> [편집] 메뉴

- 지도 복사 : 현재 지도를 클립보드로 복사한다.

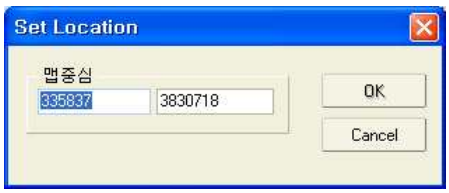
- 전체항적 지우기 : 표시된 항적을 모두 삭제한다.
- 팔래트 편집기 : 팔래트를 불러와 편집한다.

③ [위치 지정] 메뉴



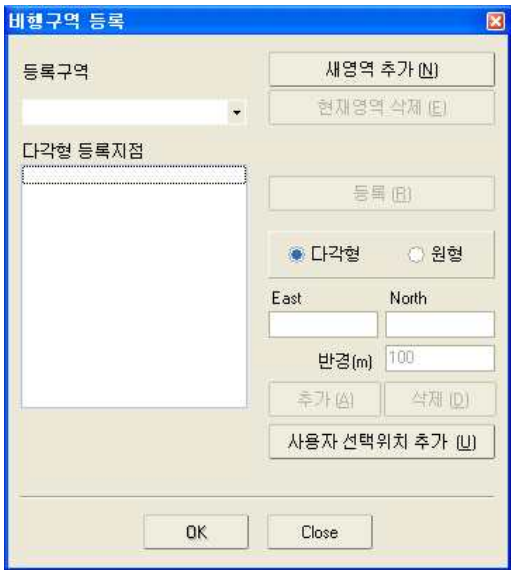
<그림 3-6-3-22> [위치지정] 메뉴

- 위치 설정 : 중심, 비행기, 지상국의 위치를 사용자가 직접 입력 합니다. 설정 메뉴에서 설정된 좌표계로 각 위치를 설정한다.



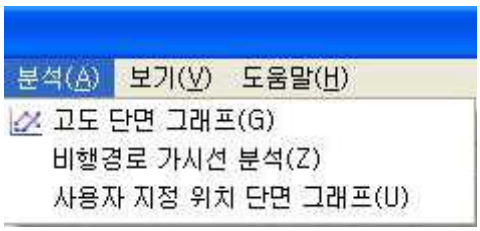
<그림 3-6-3-23> 위치 설정 화면

- 이동 : 비행기, 기지국 위치로 이동합니다.
- 비행/비행금지 구역 등록 : 새 영역 추가 버튼으로 새로운 영역을 등록할 수 있다. 새 영역이 추가 될 경우 다각형, 원형 중 사용자가 선택을 하고 다각형의 경우 추가 버튼으로 하나씩 점을 추가 할 수 있다. 이때 마우스를 이용하여 지도 윈도우를 클릭 할 경우 사용자가 선택한 지점이 Edit Box에 자동 입력된다. 다각형의 경우 3점 이상이 입력되고 등록 버튼을 누르게 되면 등록이 완료 되고 지도상에 표시된다. 원형의 경우 한 지점과 반경을 입력 하면 등록을 완료 할 수 있다.



<그림 3-6-3-24> 비행 구역 등록 화면

④ [분석] 메뉴



<그림 3-6-3-25> [분석] 메뉴

- 고도 단면 그래프와 사용자 지정 위치 단면 그래프를 표시하고, 비행경로 가시선 분석을 수행 가능

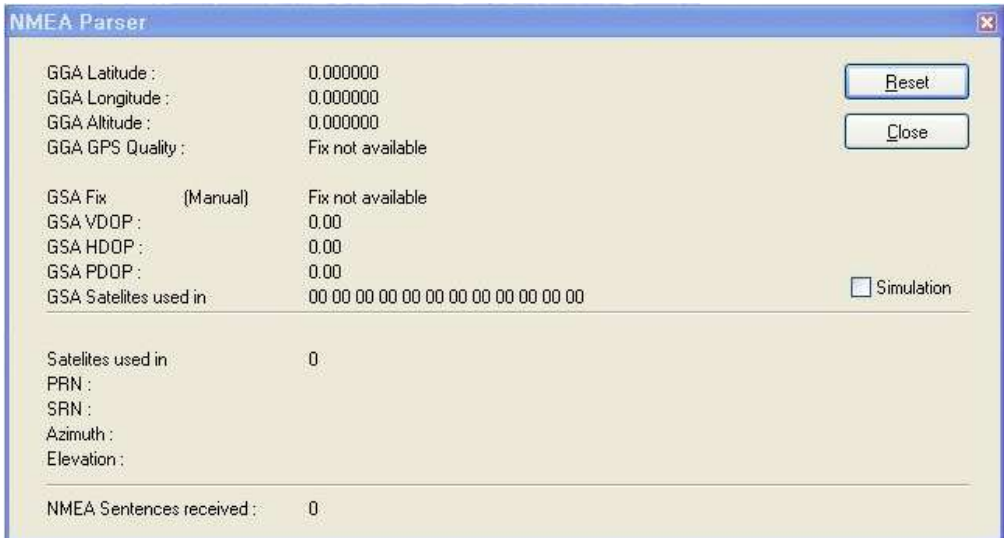
⑤ [보기] 메뉴



<그림 3-6-3-26> [보기] 메뉴

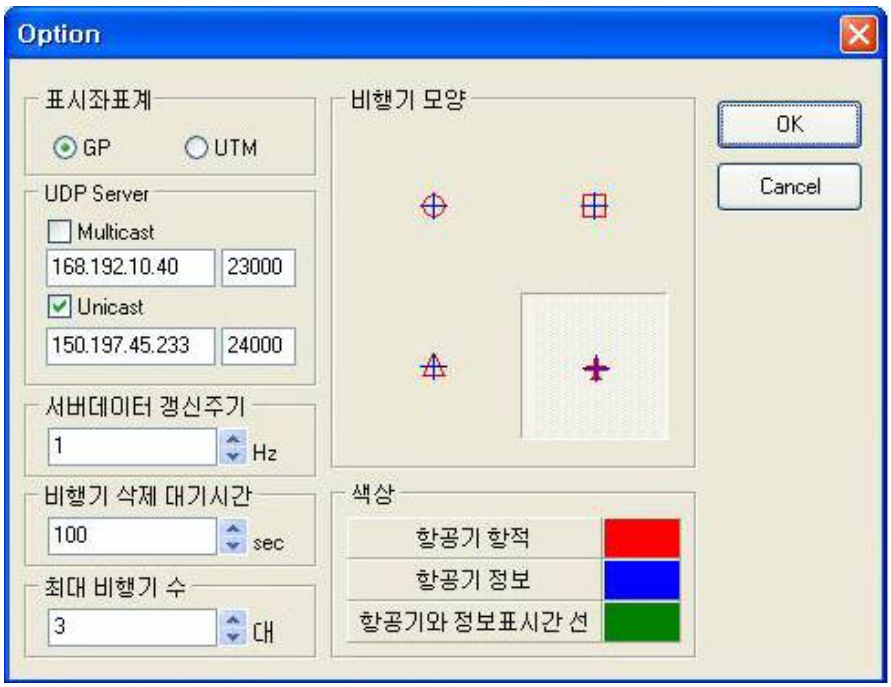
- GPS 윈도우 보기: <그림 >과 같이 전송된 NMEA 형식의 GPS 데이

터 정보를 볼 수 있음.



<그림 3-6-3-27> GPS 윈도우 보기 창

- 환경설정: 프로그램 환경 설정



<그림 3-6-3-28> 환경설정 창

(아) INI Files 설정변경

프로그램이 설치된 폴더(Default - C:\Program Files\KAVI)에 KAVI.ini파일이 존재한다. 사용자가 필요에 의해 편집해서 사용할 수 있는 옵션을 설명합니다.

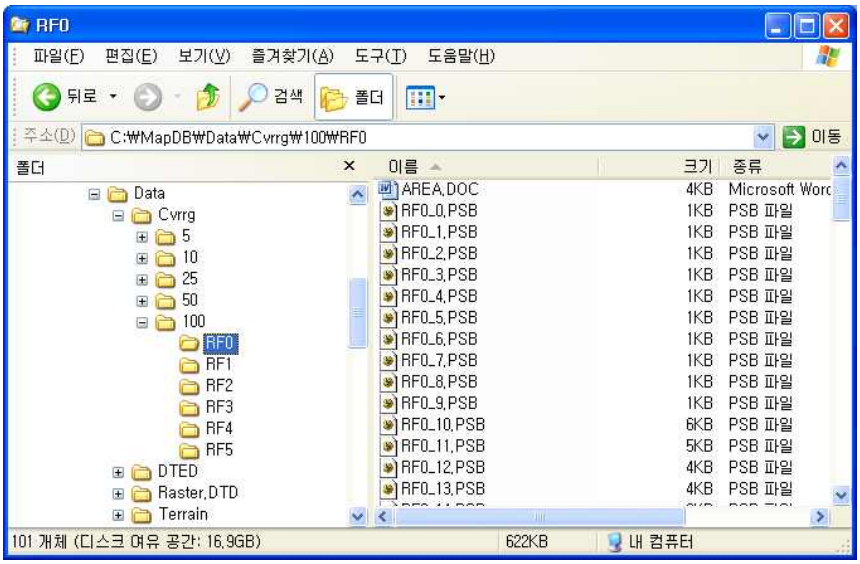
- MapFilePath=C:\\MapDB\\
- nCoordinate=2
- MultiServerIP=224.0.0.1
- UniServerIP=127.0.0.1
- bMultiServer=1
- bUniServer=1
- nCenterMethod=0
- BaseStationAlt=0
- m_lpBaseStationPos.x=303246
- m_lpBaseStationPos.y=4275660
- m_lpGroundMCPos.x=293246
- m_lpGroundMCPos.y=4265660

여기서 MapFilePath=C:\\MapDB\\ 부분을 편집해서 맵 파일이 설치된 디스크와 폴더를 변경 할 수 있다. 나머지 부분들은 프로그램 내부에서 자동 저장된다.

(자) 주요 Source Code 설명

① 지도 표시

표시할 위치의 UTM좌표에 해당하는 이미지 파일들의 디스크상의 경로를 계산하여 그 이미지 파일들을 화면에 그려준다.



<그림 3-6-3-29> 이미지 파일의 경로 예

<그림 3-6-3-29>에 이미지 파일의 경로 예가 나와 있다. 이 예에서 D:\MapDB\Data\Cvrrg\100\RF0 라는 경로 아래에 RF0_0.PSB부터 시작해 RF0_99.PSB 까지 100개의 파일이 있다. 이렇게 5,10,25,50,100의 지도 크기에 따른 각각의 하위 디렉토리가 RFn 형식의 이름으로 위치하고 각각의 하위 디렉토리에 100개씩의 이미지 파일이 있다. 이러한 이미지 파일 배치를 위한 디렉토리 구조의 생성 원리는 다음과 같다. 우선 map_tile.xls파일을 참조한다. 이 파일을 Open하면 map50이라는 sheet에 다음과 같은 데이터가 들어있다.

<표 3-6-3-1> map_tile.xls의 map50 sheet의 표

	37346	242146	446946	651746
4570200	re0	re1	re2	
4365400	re4	re5	re6	
4160600	re8	re9	re10	re11
3955800	re12	re13	re14	re15
3751000	re16	re17	re18	
3546200	re20	re21		

<표 3-6-3-1>에서 가로 수치는 UTM의 east값을 나타내고 세로 수치는 north

값을 나타낸다. 표에 따르면 50이라는 배수의 맵(map50 sheet)에서는 4570200<=north<4365400 and 37346<=east<242146 인 지역의 지도의 분할된 이미지들이 re0라는 이름의 디렉토리내에 들어있음을 의미한다. 디렉토리 이름이 빈 곳은 맵 파일이 없는 것이다. 이렇게 찾아진 디렉토리 밑의 맵 분할 파일은 해당 UTM좌표 범위 내를 가로 세로 10등분씩 100개의 파일로 나눈 것이다. 다음은 분할 이미지 파일 각각에 대한 대응 좌표를 보여주는 파일의 내용이다.

re0_0.psb 37346 4774744 37602 4775000
re0_1.psb 37090 4774744 37346 4775000
re0_2.psb 36834 4774744 37090 4775000
…
re0_98.psb 35298 4772440 35554 4772696
re0_99.psb 35042 4772440 35298 4772696

이 각각의 파일의 이름은 RFm_n.PSB 형식으로 되어있다. 여기서 m은 디렉토리 이름의 숫자와 같고 n은 분할 파일의 번호인데 좌에서 우로, 위에서 아래의 순으로 번호가 매겨져 있다. 따라서 주어진 UTM좌표가 있을 때 그 좌표에 표시될 지도의 분할 이미지 파일의 경로를 위에 설명한 것과 같이 추적하여 찾아내서 화면에 표시해주는 것이다. 이렇게, 좌표에 해당하는 이미지 파일을 찾는 함수가 void TFormView::SetMatrix() 이며 찾은 이미지 파일의 정보는 mat[][]라는 변수에 저장된다. 소스에서는 PARAM_STRUCTURE 타입으로 정의된 param이라는 변수가 east, north라는 이름의 UTM좌표를 갖고 있다. SetMatrix()에서는 이 좌표를 이용해 위에서 설명한 대로 이미지 파일의 경로를 찾아내어 그 파일 이름 정보를 mat 변수에 저장하게 된다. 이 정보를 가지고 화면에 그리는 함수는 oid TFormView::DrawMap(TCanvas * C, unsigned int zoom, int width, int height)이다. 그릴 때, PSB형 이미지 파일일 경우 decoder.PSB_Decompress(…)라는 함수로서 이미지 형식을 비트맵으로 변경해 그려주며 PCX파일일 경우 LoadPCX8FromFile(…)함수로서 비트맵으로 변경해준다.

주의할 것은 이 프로그램 내부적으로 UTM좌표는 두 가지로 구분된다는 것이다. 하나는 원래의 UTM좌표로 east, north, zone의 세 요소로 결정되는 것이다. 다

른 하나는 이 프로그램 내부적으로만 사용되는 좌표계로서 편의상 소스코드에서는 MapUTM이라 불린다. MapUTM은 zone의 개념을 없애어 east, north만으로 결정되는 것이며, zone이 52인 위치에서의 좌표들이 east, north 값은 항상 두 좌표계(UTM, MapUTM)에서 동일하지만 zone이 52가 아닌 구역에서는 동일하지 않게 된다. 이 내부적 좌표계인 MapUTM은 분할 이미지들의 디렉토리상 분포 구조를 결정하는데 원래부터 사용된 것이다. 즉, 이미지 경로를 찾아내기 위해서 MapUTM이 사용된 것이다. 또한 UTM좌표에 해당하는 물체를 화면상에 그릴 때 MapUTM좌표로 변환한 후 그리게 된다. 이 두 좌표에 대한 상호 변환 함수는 MapUTM2UTM(…), UTM2MapUTM(…)이다.

본 구현과 관련된 함수는 다음과 같다.

- void TFormView::SetMatrix()
- void TFormView::DrawMap(TCanvas * C, unsigned int zoom, int width, int height)

② 좌표변환

좌표변환은 UTM과 GP 좌표간의 변환을 의미하며, 좌표 변환 가정에서는 다음과 같은 주요 규칙을 갖는다.

- UTM좌표는 본래 (east, north, zone)의 정보를 갖는다. 이는 프로그램 소스에서는 주로 (x,y,zone)의 형태로 다룬다.
- MapUTM좌표는 (east, north)의 정보를 갖는다. 즉 zone 값이 빠진다. (사실은 zone=52를 기준으로 모든 값을 연속적으로 정의한 것)
- GP좌표는 (log, lat)의 형태로 정보를 갖는다. 소스에서는 주로 (x,y)형태로 사용된다.

UTM2GP_WGS84(…) 함수와 UTM2GP_WGS84(…) 함수는 수학적인 계산에 의해 UTM좌표와 GP좌표간의 상호 변환을 수행하는, 이하 모든 좌표 변환의 근본이 되는 함수이다. 그 외의 유틸리티 함수는 다음과 같다.

- UTM->GP : UTM2GP_WGS84를 이용하거나 다음의 함수를 이용한다.

- GP->UTM : GP2UTM_WGS84를 이용하거나 다음의 함수들을 MapUTM2UTM(GPToMapUTM(..))와 같이 조합해 사용한다.
- MapUTM->Window : MapUTMToWin 함수를 사용한다.
- Window->MapUTM : WinToMapUTM 함수를 사용한다.
- GP->Window : GP->UTM->MapUTM->Window 순서대로 위의 방법을 사용해 변형한다.
- Window->GP : WinToGP 함수를 사용한다.
- MapUTM->UTM : MapUTM2UTM 함수를 사용한다.
- UTM->MapUTM : UTM2MapUTM 함수를 사용한다.

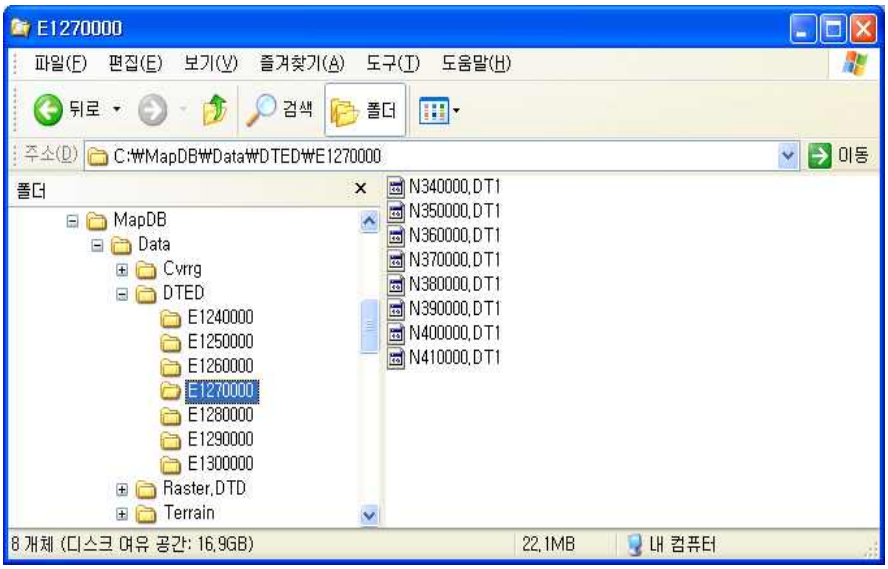
주의할 것은 이 함수의 수행 원리이다. 현재 UTM좌표를 MapUTM좌표로 변환하기 위해 근사 추적 알고리즘으로 구하고 있다. UTM좌표와 MapUTM좌표는 zone=52인 지역 내에서만 east, north가 일치하고 그 외에서는 그렇지 못하다. 그래서 등장한 것이 GetApproximateWinPos(…)함수이다. 이 함수는 주어진 UTM좌표에 가장 근접한 MapUTM좌표를 구하기 위해 사용되는데 그 방법은 우선 UTM좌표에 해당하는 GP좌표를 구하고 GP좌표에 가장 가까운 윈도우상의 점을 WinToGP(…)함수를 사용해 최소거리에 해당하는 점을 구하여 구한다. 그 점의 MapUTM좌표를 최종 근사좌표로 얻는다.

좌표변환 기능과 관련된 함수를 요약하면 다음과 같다.

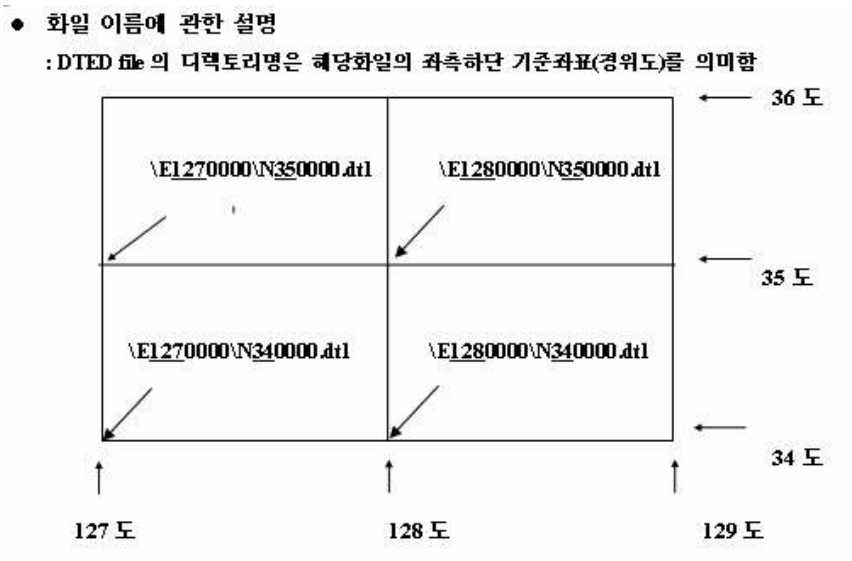
- TDblPoint UTMToGP(TLongPoint pos, unsigned int zone)
- TLongPoint GPToUTM(TDblPoint gpPos)
- TPoint TFormView::MapUTMToWin(TLongPoint pos)
- TLongPoint TFormView::WinToMapUTM(TPoint pos)
- TDblPoint TFormView::WinToGP(TPoint pt)
- TUTMPoint TFormView::MapUTM2UTM(TLongPoint maputm)
- TLongPoint TFormView::UTM2MapUTM(tUTMPoint utm)

③ 맵과 고도의 매칭

특정한 맵 위치에 대한 GP 좌표를 이용하여 고도를 계산한다. 고도 정보는 DT1이라는 확장명을 갖는 파일로, <그림 3-6-3-30>과 같은 디렉토리 구성을 가지며, 파일 이름에 대한 설명은 <그림 3-6-3-31>과 같다.

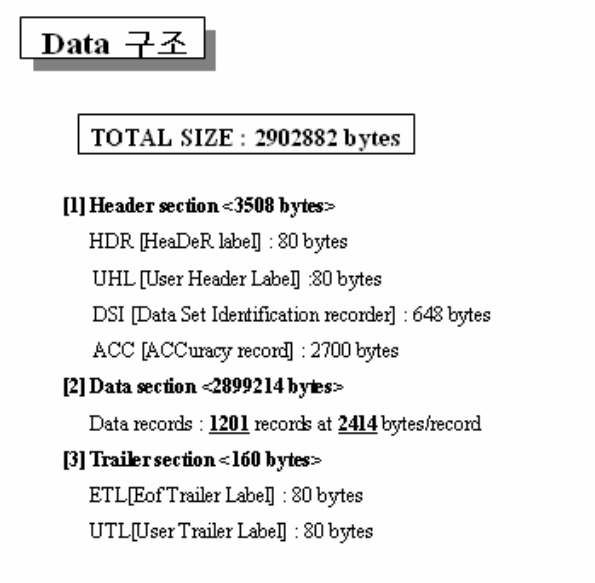


<그림 3-6-3-30> 고도 정보 디렉토리 구성



<그림 3-6-3-31> 고도 정보 파일 이름에 관한 설명

파일의 데이터 구조와 형식은 <그림 3-6-3-32>와 같다.



<그림 3-6-3-32> 데이터 구조

하나의 고도 정보 파일을 읽는 소스는 다음과 같다.

```
bool tAltitudeItem::LoadFromFile(const char * file)
{
    if (!FileExists(file))
            return false;
    FILE *fp;
    short int dbuffer[1300], swap,swap1,swap2;
    int i,j;
    fp =fopen(file, "rb");          //DTED Original File
    fseek(fp, 3508L, 0);                    //Header부분을 건너뜀
    for(i=0; i<1201; i++)           //1201 records at 2414 bytes/record
    {
            fread( dbuffer, sizeof(short int), 1207, fp);
            for(j=0; j<1200; j++){                  //Byte swapping
                    swap = dbuffer[j];
                    swap1 = ( (swap>>8)&0x00ff );
                    swap2 = (swap&0x00ff);
                    swap = (swap2<<8) | (swap1);
                    buf[i][j] = swap;
            }
    }
    fclose(fp);
    return true;
}
```

고도 정보 파일이 경도 124~130 까지 7개의 경도에 대해 33~42 까지에 걸쳐 존재할 수 있다. (해당 경위도에 고도 정보 파일이 없을 수도 있다.) 따라서 있는 파일들에 대해 거대한 2차원 배열과 유사한 고도 정보 클래스 인스턴스에 다음과 같은 소스에 의해 저장한다.

```
void tAltitudeData::LoadFromFile(TProgressBar * PrgBar)
{
    String altPathBase = String(MAPDB_PATH) + "Data₩₩DTED₩₩";
    tAltitudeItem * item = 0;
    for(int i=0; i<7; ++i)
    for(int j=0; j<10; ++j)
    {
            if (PrgBar)
            PrgBar->Position = 100.0*(i*10+j)/70;
            Application->ProcessMessages();
            String file = altPathBase + "E" + (i+124) + "0000₩₩" + "N"
                            + (j+33) + "0000.DT1";
            if (item==0)
                    item = new tAltitudeItem();
            if (item->LoadFromFile(file.c_str()))
            {
                    alt[i][j] = item;
                    item = 0;
                    }
            }
            if (item)
                    delete item;
            RepairData();
    }
}
```

여기서 하나의 파일에 해당하는 배열 변수가 tAltitudeItem * item 이라는 것이다. 전체 고도 정보를 관리할 tAltitudeData클래스는 tAltitudeItem * alt[7][10] 라고 정의된 멤버 변수를 갖는데 이 alt[][]는 7*10=70개의 파일들을 메모리로 로딩한 2차원 배열들의 포인터 배열이다. Alt[log][lat]는 경도가 log이고 위도가 lat인 고도 정보 파일이 존재할 때 그 파일을 2차원 배열화(short int[ALTITUDE_PART_H][ALTITUDE_PART_W])한 것을 가진다. 만약 파일이 없다면 NULL이다.

이 alt[][]로부터 특정 좌표에 해당하는 고도를 얻는 소스는 다음과 같다.

```
bool tAltitudeData::GetAltitude(double latitude, double longitude, short int * altitude)
{
    int i = int(longitude)-124;
    int j = int(latitude)-33;
    if (i<0 || j<0 || i>6 || j>9)
            return false;
    tAltitudeItem * data = alt[i][j];
    if (data == NULL)
            return false;
    int lat1 = (latitude - int(latitude)) * (1200-3);
    int log1 = (longitude - int(longitude)) * 1200;
    *altitude = (*data).buf[log1+1][lat1+3];
#ifdef _DEBUG
    debugInfo = String().sprintf("i %d j %d log %d lat %d altitude %d", i, j, log1, lat1, (int)*altitude);
#endif
    return true;
}
```

④ GPS Data처리

NMEA CodeGPS에서는 신호가 NMEA (The National Marine Elecrtronics Association) 형식으로 수신된다. NMEA는 The National Marine Elecrtronics Association이라고 하는데 초기 해양정보 데이터의 형식은 $로 시작해서 GP로시작하는 NMEA코드이름, 그리고 데이터와 맨 마지막에 *xx의 Check Sum그리고 \n 혹은 \n\r로 끝난다.

프로그램에서 GPS 모듈에서 나온 정보는 UART로 데이터를 전송하고, baud rate는 9600bps 로 기본 설정된다. frmNMEAPaser.cpp 파일의 FormNMEAParser:: FormCreate(TObject *Sender)에서 초기화 된다.보통 GPS수신기는 네 가지 종류의 NMEA코드를 출력하는데 $GPGGA,$GPGSA, $GPGSV, $GPRMC이다. 데이터는 모두comma (,)로 구분되어 있다. 이 중 프로그램에서 필요한 $GPGGA의 구조는 다음과 같다.

$GPGGA는 Fix Data라고 하는데, 여기에서 알 수 있는 것은 시간, 위도, 경도, 고도 등이다. $GPGGA의 예는 다음과 같다.

.$GPGGA,095835.566,3730.3083,N,12645.7957,E,1,05,4.0,40.8,M,18.9,M,0.0,0000*4F

095835.566는 시간으로서 그리니치 표준시 기준으로 09시 58분 35.566초를 의미한다. F3730.3083,N 는 위도로서37도 30.3083분을 뜻한다. N은 북위, S는 남위이다.

F12645.7957,E 은 경도로서126도 45.7957분을 뜻한다. E는 동경, W는 서경이다. F1은 fix종류이며 GPS 위성에서 동시에 쏘아준 신호의 시간차를 이용하여 거리를 계산한다(삼각측량). 최소한 3개 이상의 GPS신호를 받아야 한다. 상업용 GPS는 오차가 15m정도 인데, 이를 보정하기위해 지상의 특정위치(데이터 수신이 양호한) 기지국을 설치하고 기지국에서도 신호를 보낸다. 이를 GDPS라 부르며 오차를 5m이내로 줄일 수 있다. 이 값이 0 이면 사용할 수 없는 데이터, 1 이면 gps 위성신호만으로 계산, 2 일 경우 DGPS도 사용하여 계산한 데이터이다.

4. 인터페이스 설계

가. 인터페이스 설계

(1) 인터페이스 종류 및 연동방법

운용시험장비와 인터페이스 되는 장비와 인터페이스 방법은 <표 3-6-4-1>과 같다.

<표 3-6-4-1> 인터페이스 종류 및 연동 방법

구 분	설계 결정사항	
	연동 대상	연동 방법
Aircraft Application System	GPS 수신기	Serial (RS232)
	CMU	Ethernet
Ground Application System	DSP	Ethernet

(2) ATS 기능별 메시지 Frame Format

<표 3-6-4-2> AFN Message Format

Field	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Ctr_Addr (7)	Flight_No (6)	Icao_id (6)	Time (6)	Length (4)	Data (N)	Suffix (1)
Definition	0x7E	Msg. ID	Aircraft Registration Number	ATC Center Address	Flight Name	Upper case hexadecimal value 24 bit addr	Current Time HHMMSS	Length of Data field	Appl. Data (Character converted)	0x0A
Bit/ Char.	B	C	C	C	C	C	C	C	C	B

<표 3-6-4-2>는 AFN 기능에 사용되는 헤더와 데이터를 포함한 메시지 형식이다. 인터페이스에는 TCP/IP를 사용하며, 운용시험장비와 CMU, DSP 간의 데이터 전송 포맷을 본 연구에서는 KARI-Wrapper Frame Format이라고 명명한다.

Data의 구성 형식은 ARINC 관련 규격을 준수하며, 메시지는 ARINC 표준의 bit-oriented 방식을 따르고 있다.

AFN Message Format의 Data 필드에는 항공기가 어떤 애플리케이션을 지원/사용하는지에 대한 정보가 포함된다.

ADS / CPDLC 기능을 위한 Message Format은 <표 3-6-4-3>과 같다. 최초 통신 연결(connection)이 완료된 후 대부분의 데이터 통신에 사용되는 Message

Format이다.

<표 3-6-4-3> ADS/ATC - Message Format

Field	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Ctr_Addr (7)	Length (4)	Data (N)	Suffix (1)
Definition	0x7E	Msg. ID	Aircraft Registration Number	ATC Center Address	Length of Data field	Appl. Data (Character converted)	0x0A
Bit/ Char.	B	C	C	C	C	C	B

특별 기능으로 AVLC Frame Error 특성을 파악하기 위한 AVLC Frame Test 기능에 사용되는 Message Format은 <표 3-6-4-4>와 같다.

<표 3-6-4-4> AVLC Frame Test Message Format

Field	Prefix (1)	ID (2)	AN (7)	Ctr_Addr (7)	IMI (3)	MFI (2)	Length (4)	Data (N)	Suffix (1)
Definition	0x7E	Msg ID	Registration Number	ATC Center Address	Imbedded Message Identifier	Message Format Identifier	Length of Data field	Appl. Data	0x0A
Bit/Char	B	C	C	C			C	C	B

전술한 Message Format을 구성하는 요소인 항목들의 정의와 할당된 바이트 수는 <표 3-6-4-5>와 같다.

<표 3-6-4-5> Message Format 구성 요소

항 목	정 의	Byte 개수	예 시	비 고
Prefix	메시지의 시작	1	0x7E	Bit
ID	해당 데이터가 어떤 종류의 것인지 정의	2	B0	Bit
AN	항공기 Registration Number	7	N678DL1	Char
Ctr Addr	접속 Center Address	7	OAKXGXA	Char
Flight No	항공기 Number	6	FRTW01	Char
ICAO ID	Hexadecimal 24 bit address	6	FAC114	Char
Time	전송 시간, HHMMSS	6	112512	Char
Length	Data 길이 (byte 수), 최대 0x0000	2	FFFF	Char
IMI	Imbedded Message Identifier	3	DC1	Char
MFI	Message Format Identifier	2	A3	Char
Data	Bit-oriented 기반 데이터	n	C6005DE9	Char
Suffix	메시지의 종료	1	0x0A	Bit

(3) 전송 Message Header 종류 (Prefix 정의)

운영시험장비에서는 AFN, ADS, CPDLC 등의 애플리케이션과 관련된 통신을 모두 수행하므로 메시지 차원에서 이를 용이하게 구분하기 위하여 전송 Message Header의 종류를 <표 3-6-4-6>과 같이 정의한다.

<표 3-6-4-6> 전송 Message Header 종류 (Prefix 종류)

항 목	정 의	비 고 (Label 값 사용)
A0	AFN Uplink Header	ATS Facility Notification (UP)
B0	AFN Downlink Header	ATS Facility Notification (DN)
A6	ADS Uplink Header	Request ADS Reports (UP)
B6	ADS Downlink Header	Provide ADS Reports (DN)
AA	ATC Uplink Header	ATC Communication (UP)
BA	ATC Downlink Header	ATC Communication (DN)
6E	ADS Disconnect Header	ADS Disconnect Request
AE	ATC Disconnect Header	ATC Disconnect Request
B3	ATC PDC Downlinke Header	ATC Communication (DN)
B4	ATC PDC Downlinke Header	ATC Communication (DN)
A3	ATC PDC Uplink Header	ATC Communication (UP)
LU	LoopTest Uplink Header	AVLC Frame / Loop Test (UP)
LD	LoopTest Downlinke Header	AVLC Frame / Loop Test (DN)
FT	Link Information Header	CONN / DISC Notification (UP / DN)

나. 애플리케이션 기능별 데이터 구조

(1) AFN (ATS Facilities Notification)

본 운용시험장비는 ARINC-622 규격에 따라 항공교통기관이 항공기가 지원하는 애플리케이션을 식별하고 관제권을 이양하는 데 사용되는 AFN 기본 기능을 제공한다. AFN 메시지의 전체 포맷은 <표 3-6-4-2>에서 설명하였고, 전송되는 데이터 항목의 구조는 다음과 같다.

<표 3-6-4-7> AFN Message의 Data 구조

AFN PDU	전송 Data			
	AFN Message Header (Position)	AFN Message Header (Time)	AFN Message Header (Application List)	AFN Message Data (Reason Code)

AFN PDU(Protocol Data Units)는 Data 구조체 내에서 어떤 종류의 AFN 메시지인지를 정의하는 값이다.

AFN 연결(Connection)을 요청하는 위치와 시간, 그리고 본 요청을 하는 시스

템에서 어떤 애플리케이션을 포함하는지(ADS 또는 CPDLC)를 선택하여 전송 데이터의 구조체를 구성한다. 본 데이터는 Bit-oriented 방식으로 구성된다.

AFN 연결은 <그림 3-6-1-4>와 같이 Aircraft Application System에서 최초 요청을 보내며, ADS / CPDLC 연결에 앞서 수행한다. 연결 요청 후 5분 이내 응답이 없는 경우 시스템에서 오류로 처리된다.

(2) ADS (Automatic Dependent Surveillance)

운용시험장비는 백그라운드 기능으로 항공기의 ID, 위치 및 상태 정보를 송수신할 수 있는 ADS 애플리케이션을 제공한다.

ADS 데이터를 전송하는 방식에는 Event 방식과 Period 방식이 있는데, 본 시스템에서는 요구시에나 특정 지점에서 건별로 데이터를 전송하는 Event 방식이 아닌 주기적으로 데이터를 전송하는 Period 방식만을 사용한다.

운용 시험을 위해 항공기의 위치 등 항법정보는 GPS 수신기의 정보만을 사용하며, ADS 데이터의 구조는 <표 3-6-4-8>과 같다.

<표 3-6-4-8> ADS Message Data 구조

ADS PDU	전송 Data		
	AFN Message Data (Position)	AFN Message Data (Time)	AFN Message Data (Ground Speed)

ADS PDU(Protocol Data Units)는 Data 구조체 내에서 어떤 종류의 ADS 메시지인지를 정의하는 값이다.

ADS 연결(Connection) 요청은 AFN 연결(Connection)이 완료된 후 수행된다.

Ground Application System에서 요청을 하고, Aircraft Application System에서 수락한 후 AAS는 주기적으로 ADS 데이터를 전송하기 시작한다. 전송 주기는 Ground Application System이 Connection 요청을 할 때 지정하며, 1초에서 2시간까지 전송 주기를 설정할 수 있다.

ADS Disconnection 요청은 GAS에서만 요청 가능하다.

ADS 데이터를 통해 전송되는 정보는 다음과 같다.

○ 통신 일자 및 시간

- 정상적인 GPS 수신기 동작 시 GPS 데이터를 사용하고, 그렇지 못한 경우 시스템 정보를 이용하여 구성

○ 위치 (Altitude / Latitude)

○ 고도

○ 속도

(3) CPDLC (Controller/Pilot Data Link Communication)

조종사와 관제사간의 데이터통신에 사용되는 CPDLC 메시지의 데이터 구조는 <표 3-6-4-9>와 같다.

<표 3-6-4-9> CPDLC Message Data 구조

<table>
<tr><td rowspan="2">PDU</td><td colspan="2">전송 Data
PDU 에 따른 데이터 구조체 선택
(Variable Length)</td></tr>
<tr><td>ATC Message Header</td><td>ATC Message Data</td></tr>
</table>

ATC Message Header에는 다음과 같은 항목이 포함된다.

○ PDU

○ Time

○ Message Attribute (Urgency / Alert / Response)

○ Message ID

본 운용시험장비에서는 CPDLC Connection 요청은 ADS Connection이 완료된 후 수행되도록 설계되었다.

지상시스템에서 연결 요청을 하고, AAS에서 수락하여 연결이 되면, 조종사와

관제사가 서로 원하는 시점에 언제든지 데이터 통신이 가능하다.

CPDLC Disconnection 요청은 Aircraft Application System / Ground Application System 모두 요청 가능하며, 또한 운용시험장비 종료 시점에 Disconnection 요청이 이루어지도록 설계되었다.

(4) PDC (Pre-Departure Clearance)

PDC(Pre-Departure Clearance) 기능은 CPDLC 통신 체결 후 조종사에 의해 요청되는 출발 허가를 받는 과정을 수행하도록 구성하였다. 민항기 연동 시험의 일환으로 본 기능을 추가적으로 설계하여 반영하였다.

현재 PDC는 ACARS 장착 항공기에서 서비스가 가능한 항공교통서비스(ATS)이며 현재 국내에서 많은 활용이 이루어지고 있는 애플리케이션이다.

조종사가 PDC 요청을 하면, 지상 관제사는 이를 확인하는 동시에 readback을 요청한다. 조종사는 확인 메시지를 재전송함으로써 PDC 수행을 완료한다.

(5) AVLC (Aviation VHF Link Control) Frame Test 데이터

본 기능은 항공교통서비스 애플리케이션과는 상관없이 개발 과정에서, 개발된 VDL M2 시스템의 성능 검증을 위해서 AVLC Frame에 대한 Frame Error 특성을 측정하기 위해 추가적으로 구성된 기능이다.

운용시험장비에서 AVLC Frame 의 크기는 248Byte 크기를 최대 크기로 하며, 전송 데이터의 크기는 조정할 수 있으며, 마찬가지로 전송주기도 변경 가능하다. Data Packet Pattern은 “ABCDEFGHIJKLMN”의 연속 Text 데이터를 많이 사용하였다.

AVLC Frame Test 기능을 통하여 다음과 같은 데이터를 획득하여 성능 검증에 활용하고 있다.

- ○ 메시지 전송 시각
- ○ SQP 평균값
- ○ Info Frame 총수
- ○ AVLC 수신 Frame 수

○ CRC Error Frame 수

○ ADS 데이터 (위치, 고도, 속도)

5. 운용시험장비 구성 하드웨어

가. Aircraft Application System (AAS)

(1) 노트북 컴퓨터

Aircraft Application System을 구성하는 장비로 이동성이 좋은 노트북을 사용하였으며 주요 특징은 다음과 같다.



모델명	LIFEBOOK P1610
기본 운영 체제	정품 Windows XP Tablet PC Edition 2005
프로세서	Intel Core Solo Processor U1400(ULV)
Chipset	Intel 945GMS
메모리(최대)	1024MB DDR2-533, Micro DIMM x 1 (최대 1GB)

<그림 3-6-5-1> AAS 하드웨어 - 노트북

항공기 탑재 가능 조건을 우선으로 해당 장비를 선정하였으며, Tablet PC를 사용하여 터치스크린 기능이 지원되므로 이동 중인 차량이나, 항공기에서 다른 입력 장치의 도움 없이 애플리케이션 구동이 용이하다는 장점이 있다.

항공기에서 사용하는 프로그램들과 GUI(Graphic User Interface)를 실제 항공기 환경과 유사하게 구성하여 직관적으로 사용 가능하도록 하였다.

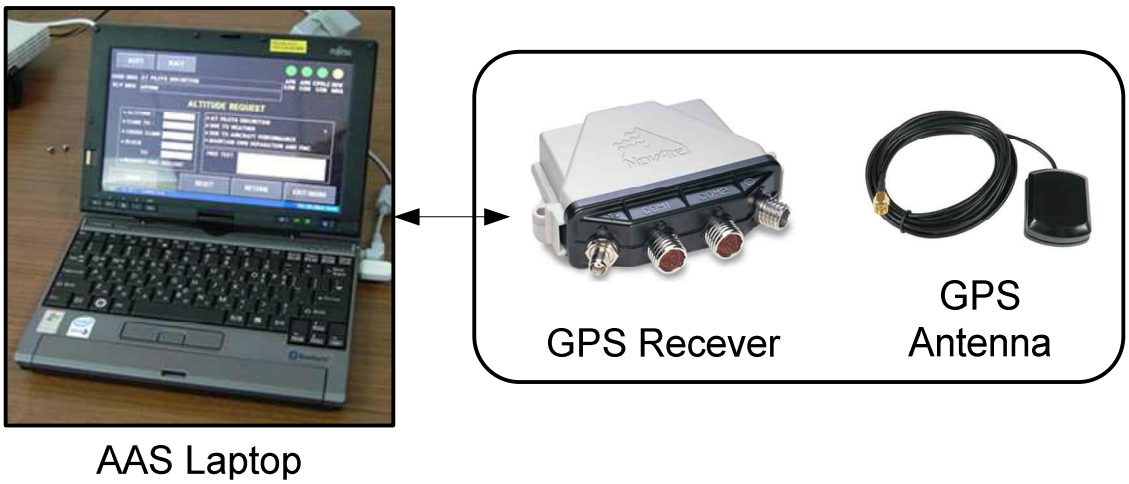
(2) GPS 수신기



모델명	Road Runner (GX-U25)
정격 전압	5V USB 전원, 160mA
채널 및 주파수	12채널(All-in-view), L1(1575.42 MHz)
사용 온도	온도 -30~ 80 ℃
데이터 포맷	NMEA-0813, SiRF binar
통신 속도	9600 bps

<그림 3-6-5-2> AAS 하드웨어 - GPS 수신기

ADS 데이터는 항공기의 위치, 시간 등의 정보로 구성된다. 본 연구에서는 GPS 수신기를 항법원으로 사용하였으며, 수신기 하드웨어의 특징은 <그림 3-6-5-2>와 같다. 간편하게 사용할 수 있도록 USB 타입의 수신기를 사용하였고, 지상 이동시험과 비행시험에는 NovAtel사의 고급 GPS 수신기를 사용하였다.



<그림 3-6-5-3> AAS 하드웨어 연결

송수신과 관련된 시각정보가 필요할 시에는 GPS 수신기 연동 시, GPS 수신기를 통해서 얻은 시각을 사용하며, 연동되지 않은 경우 PC System 의 시간을 사용한다.

나. Ground Application System (GAS)

GAS는 <그림 3-6-5-4>와 같이 19인치 랙 타입 외형으로 두 대의 산업용 PC와 두 대의 디스플레이장치, 키보드 및 마우스 입력장치, 키보드 및 디스플레이 전환기, 네트워크용 허브 등으로 구성되어 있다.



<그림 3-6-5-4> GAS 하드웨어

(1) 통신 기능 처리용 PC 및 디스플레이

CPDLC를 포함한 ATC Main 기능의 통신 처리용 PC는 다음과 같은 규격의 산업용 PC를 사용하였으며, 19인치 LCD 디스플레이 장치가 사용되었다.

- EIA 19″ RACK-MOUNT 4U CHASSIS
- ATX420W POWER SUPPLY 2RU (88.9 x 438.2 x 416.6 mm)

(2) ADS 데이터 표시용 PC 및 디스플레이

ADS(-C) 데이터 처리용 PC로 별도의 산업용 PC를 사용하였으며, 19인치 LCD 디스플레이 장치가 ADS 데이터 전용 표시 장치로 사용되었다.

6. 운용시험장비 시험평가

운용시험장비에 대한 시험평가를 수행하기에 앞서, 운영시험장비에 대한 전반적인 시험평가 계획을 수립하고, 요구조건(requirement)에 부합하는 시험평가를 수행하기 위해 <표 3-6-6-1>과 같이 요구조건충족대비표(RCC : Requirement Compliance Checklist)를 작성하여 체계적인 시험평가가 수행될 수 있도록 하였다.

<표 3-6-6-1> 운용시험장비 Requirement Compliance Checklist (RCC)

Requirement Compliance Checklist				Unit Name :			운용시험장비								
번호	요구규격			평가방법										Pass /Fail	비고
	요구항목	요구조건	적용문서	INSP	ANAL	Demo.	Test						측정값		
							UT	IT	LT	GT	FT	ET			
1	기능	N/A													
1.1.	Aircraft Application System (AAS)	N/A													
1.1.1	AAS 초기화 및 통신환경 설정	N/A													
1.1.1.1	AAS H/W전원인가 및 OS 구동	정상 작동 확인	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.1.2	AAS S/W 구동	정상 작동 확인 (AS S/W 초기화면 표시)	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.1.3	AAS Information, ATC 정보 설정	설정치 정상 반영 확인	시험명세서			V	V	V					정상	Pass	
1.1.2	초기화면(ATC) 구동	ATC 메인화면 표시	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3	링크 설립 및 메시지 송수신	N/A													
1.1.3.1	LOGON/통신링크 설립	N/A													
1.1.3.1.1	Logon/Status 화면 구동	정상 작동 확인	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3.1.2	Logon/Status Reset 기능	Flight Information/ATC Center 정보 재설정 가능	시험명세서			V	V	V							
1.1.3.1.3	AFN 연결	성공시, Response Text 표시 LED ON 연결실패시(AS 연결시도 5분 후 응답없음), retry 1회	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3.1.4	ADS 연결	성공시, Response Text 표시 LED ON 연결실패시(AS 연결시도 6분 후 응답없음), retry 1회	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3.1.5	ATC(CPDLC) 연결	성공시, Response Text 표시 LED ON 연결 실패시(GS 연결시도 없음), ADS 주기에 따라 GS retry 1회	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3.1.6	GPS 수신기 연동	GPS 데이터 정상 수신	시험명세서			V		V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3.2	CPDLC 메시지 송수신	고도/속도/비상상태/Free Text 메시지(요청/응답 메시지) 정상 송수신 확인	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition 시험명세서			V	V	V	V	V			정상	Pass	
1.1.3.3	ADS 메시지 송신	ADS 메시지를 설정된 주기에 따라 송신(Background 동작)	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition 시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.1.3.4	Loop Test/AVLC 프레임 송수신	특정 크기의 AVLC 프레임 정상 송수신	시험명세서						V	V	V		정상		
1.1.3.5	PDC 기능 동작					V							정상	Pass	한국공항공사
1.1.3.6	민항기 연동 시험					V							정상	Pass	대한항공
1.2.	Ground Application System (GAS)	N/A													
1.2.1	GAS 초기화 및 통신환경 설정	N/A													
1.2.1.1	GAS H/W전원인가 및 OS 구동	정상 작동 확인	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.1.2	GAS S/W 구동	정상 작동 확인 (AS S/W 초기화면 표시)	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.1.3	GAS Configuration 정보 설정	설정치 정상 반영 확인	시험명세서			V	V	V					정상	Pass	
1.2.2	초기화면(ATC) 구동	ATC 메인화면 표시	시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.3	링크설립 및 메시지 송수신	N/A													
1.2.3.1	LOGON/통신링크 설립	N/A													
1.2.3.1.1	AFN 연결	AAS로부터 연결요청 관련 정보 수신/표시, 자동으로 AFN Accept Response 전송	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.3.1.4	ADS 연결	GAS가 자동으로 ADS 연결 요청, 관련 정보 화면 표시	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.3.1.5	ATC(CPDLC) 연결	GAS가 자동으로 ATC 연결 요청, 관련 정보 화면 표시	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.3.2	CPDLC 메시지 송수신	고도/속도/비상상태/Free Text 메시지(요청/응답 메시지) 정상 송수신 확인	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition 시험명세서			V	V	V	V	V			정상	Pass	
1.2.3.3	ADS 메시지 수신 후 시현장치로 전달	AAS로부터 수신된 메시지를 지도 시현장치로 정상 전달, 데이터베이스에 저장	ICD-220 ICAO SARPs 3rd Edition 시험명세서			V	V	V	V	V	V		정상	Pass	
1.2.3.4	Loop Test/AVLC 프레임 송수신	특정 크기의 AVLC 프레임 정상 송수신	시험명세서			V			V	V	V		정상	Pass	
1.2.3.5	PDC 기능 동작					V							정상	Pass	한국공항공사
1.2.3.6	민항기 연동 시험					V							정상	Pass	대한항공

가. 운용시험장비 시험 내용

운영시험장비 설계 및 제작 완료 후 전체 시스템 통합 시험에 투입하기에 앞서 개발 운용시험장비의 기능 점검을 위해 구성품 시험평가를 실시하였다. VDL 장비가 개발 완료되지 않은 상태에서 운용시험장비의 구성품 시험평가를 수행하기 위해 지상운영시험장비와 탑재 운용시험장비를 유선(TCP/IP 케이블)으로 연결하여 아래와 같은 기능을 점검하였다.

○ Aircraft, Ground System 초기화

○ 메시지 항목별 송수신 시험

- Log On / Status
- Altitude Request
- Speed Request
- Emergency Report Request
- Free Text Request
- ADS Message

나. 운용시험장비 시험 결과

운영시험장비의 구성품 시험결과를 요약하면 <표 3-6-6-2>와 나타낼 수 있으며 여기서 보면 모든 시험항목을 만족시키고 있음을 알 수 있다. 자세한 시험결과는 탑재운용시험장비 및 지상운용시험장비 절차 및 결과서에 잘 나타나 있다.

<표 3-6-6-2> 운용시험장비 시험결과 요약

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
시스템 초기화	○ 프로그램 구동 후 GAS, AAS 통신설정(IP, Port 번호 입력 등) 수행 ○ 설정기능 정상 작동 여부 확인	General	정상 작동	합격
로그온 기능 및 상태 확인	○ 통신 연결접속을 위한 기본정보(ATC Center, 항공기 주소 등) 입력 후 로그온 동작 수행 ○ 접속이 정상적으로 되는지 확인 ○ 로그온 완료 후 Main 화면 복귀 기능 확인	General	정상 작동	합격
고도 요청 (Altitude Request) 관련 메시지 전송 기능	○ 고도 요청 관련 메시지 전송 ○ 해당 요청에 대한 회신 메시지 전송 ○ 송수신 메시지 기능의 정상 작동 여부 확인 ○ 신규 메시지 도착시 NEW MSG 점멸등 점멸 여부 확인	ICAO SARPs, ATN Manual	정상 작동	합격
속도 요청 (Speed Request) 관련 메시지 전송 기능	○ 속도 요청 관련 메시지 전송 ○ 해당 요청에 대한 회신 메시지 전송 ○ 송수신 메시지 기능의 정상 작동 여부 확인 ○ 신규 메시지 도착시 NEW MSG 점멸등 점멸 여부 확인	ICAO SARPs, ATN Manual	정상 작동	합격
비상 보고 (Emergency Report) 관련 메시지 전송 기능	○ 비상 보고 관련 메시지 전송 ○ 해당 요청에 대한 회신 메시지 전송 ○ 송수신 메시지 기능의 정상 작동 여부 확인 ○ 신규 메시지 도착시 NEW MSG 점멸등 점멸 여부 확인	ICAO SARPs, ATN Manual	정상 작동	합격

제 7 절 시험평가

1. 시험평가 개요 및 계획

설계/구현된 구성품, 서브시스템 및 시스템에 대한 개발 및 설계 요구조건을 만족하는지와 개발장비의 운용성을 확인하기 위하여 시험을 수행하고자 한다. 본 과제에서 구현된 장비들에 대한한 시험평가는 구성품시험, 프로토콜 분석시험, 체계통합시험(인터페이스)시험, 1차 지상시험, 환경시험, 2차 지상시험(차량탑재 야외이동), 비행시험, 공항시설 호환성 시험 및 민항기 연동시험으로 구성되며 이러한 시험을 통해 기능/성능 및 운용성을 시험평가 하게 된다. 구성품시험은 앞 절에서 언급되었으므로 본 절에서 다루지 않는다.

먼저 시험수행을 위해 <그림 3-7-1-1>과 같이 규격충족점검표(RCC : Requirement Compliance Checklist)를 작성하여 이를 근간으로 RCC의 각 항목에 대해 시험평가를 수행한다. RCC는 연구계획서, ICAO표준서, RTCA/DO 규격서, ARINC 규격서 및 ETSI 규격서를 기준으로 작성되었다. 이렇게 작성된 RCC의 항목은 시험절차서를 작성하는 항목으로 상호 참조되고 작성된 시험절차에 따라 시험을 수행하였다. 그리고, 시험결과는 시험절차서에 도표와 되어 있는 기록 공간에 결과를 기록하였다.

No.	Requirement Conditions			Evaluation Method								
	Item	Description	References	INSP	ANAL	EXAM	Test					
							UT	IT	LT	GT	FT	ET
1	Physical Characteristics											
1.1.	Weight	TBD (Pine Telecom)		V								
1.2.	Size	TBD (Pine Telecom)		V								
2.	Function / Performance											
2.1.	DLS											
2.1.1.	Services											
2.1.1.1.	Frame Sequencing											
2.1.1.1.1.	N(S)	Increment by 1 every transmit INFO					V	V	V			
2.1.1.1.2.	N(R)	N(R) = V(S) + 1					V	V	V			
2.1.1.1.3.	Duplicated Frame	discard all duplicated frames					V	V	V			
2.1.1.1.4.	Frame Sequence Order	send the frames in correct order rather than order arrived.					V	V	V			
2.1.1.1.5.	N(S) and N(R) go back to 0	N(S) and N® shall go back to 0 after 7					V	V	V			
2.1.1.2.	Error Detection (FCS check)	discard all frames with incorrect FCS					V	V	V	V	V	
2.1.1.3.	Broadcast Addressing	support broadcast address	DO-224B / 3.2.2.4.1.4		V		V	V	V	V	V	
2.1.1.4.	Data Transfer											
2.1.1.4.1.	Data transfer general	data is transferred in INFO, XID	DO-224B / 3.2.2.4.1.5				V	V	V	V	V	
2.1.1.4.2.	Largest packet size (*1)	Support the largest packet size (2,052B)	DO-224B / 3.2.2.4.1.5				V	V	V	V	V	
2.1.1.4.3.	No. of user packets in a frame	Only one user packet shall be contained in INFO frame.	DO-224B / 3.2.2.4.1.5				V	V	V			
2.1.2.	AVLC Protocol Spectification											
2.1.2.1.	Frame Format	Conform to ISO/IEC 13239 and DO-224B	DO-224B / 3.2.2.4.2.1		V							
2.1.2.2.	Address Structure	Conform to ISO/IEC 13239 and DO-224B	DO-224B / 3.2.2.4.2.2		V							

<그림 3-7-1-1> 시험평가 항목 도출을 위한 RCC 예제

구현된 VDL M2 데이터링크 통신장비와 운용시험장비에 대한 시험평가 계획은을 종합하면 <표 3-7-1-1>와 같이 설정된 개발 목표를 바탕으로 시험평가 계획을 수립하였다. 각 시험에 대한 세부 평가항목은 앞에서 언급한 바와 같이 RCC에 기재된 내용을 참조로 설정되었다. 본 과제에서 진행된 시험현황은 <표 3-7-1-2>, <표 3-7-1-3> 같이 수행되었다. 구성품 시험에서는 송수신기가 3차에 걸친 시험을 수행하였으며, 환경시험의 경우에도 요구조건 만족을 위해 시험과 수정보완을 여러 번 거쳐 수행되었다.

<표 3-7-1-1> 시험항목 요약

항 목	개발 목표		시험계획	비고
	연구계획서	설계목표		
사용주파수	118~137	←	구성품/1차지상	VHF송수신기
운용반경	-	200nm	구성품시험 비행시험	고도 : 45Kft 지상평지
비트오율	-	10^{-3}	구성품시험	@-98dBm RSS
채널간격(KHz)	25	←	구성품시험	
RF출력(W)	5~30	15W이상	구성품시험	
수신감도(dBm)	-98이하	←	구성품시험	@BER 10^{-3}
수신선택도[dB] (Dynamic Range)	-	90dB이상	구성품시험	
변복조방식	D8PSK	←	구성품시험	VDL M2
데이터전송률(kbps)	31.5	←	구성품시험	
다중접속방식	CSMA	CSMA (p-persist)	구성품시험	
운용온도(℃)	-	GS : -20~55 AS : -30~55	환경시험	ETSI, DO-160
링크설립	-	기능보유	1차/2차지상	
핸드오프	-	기능보유	1차/2차지상	
AFN	-	기능보유	구성품/1차지상	
CPDLC	-	기능보유	구성품/1차지상	
ADS-C	-	기능보유	구성품/1차지상	
공항시설 호환성	-	호환가능	공항시설 연동	
민항기 호환성	-	호환가능	민항기 연동	

<표 3-7-1-2> 비행시험 추진 현황 종합

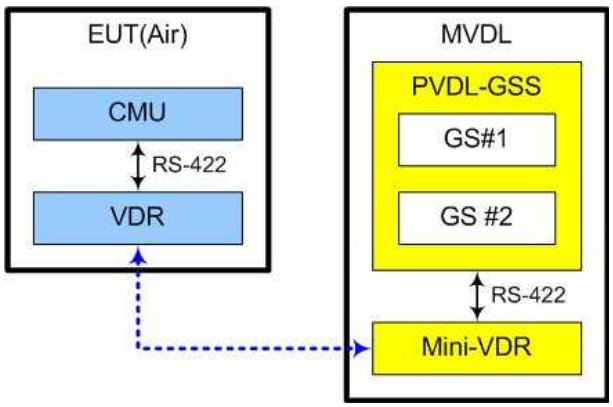
분류	시험명	시험절차/결과서 문서번호	시험내용	시험일자 결과
구 성 품 시험	CMU 단품 시험	VDLM2-ACMU-UT	· 탑재CMU 동작시험 (소프트웨어 시험 위주)	2008년 4월 PASS
	DSP 단품시험	VDLM2-GDSP-UT	· DSP 동작시험 (소프트웨어 시험 위주)	2008년 4월 PASS
	GCMU 단품시험	VDLM2-GS-UT	· GS(GCMU) 동작시험 (소프트웨어 시험 위주)	2008년 4월 PASS
	GAS 단품시험	VDLM2-GAPP-UT	· 지상 시험운용장비의 기능 확인 시험	2008년 4월 PASS
	AAS 단품시험	VDLM2-AAPP-UT	· 탑재 시험운용장비의 기능 확인 시험	2008년 4월 PASS
	VDR 단품시험	VDLM2-AVDR-UT	· 탑재 VDR 기능 및 성능확인 시험	1,2,3차 수행 2009년 12월 Pass
	GVDR 단품시험	VDLM2-GVDR-UT	· 지상 VDR 기능 및 성능확인 시험	1,2,3차 수행 2009-12 Pass
인터 페이 스 시험	ASIP 시험	VDLM2-ASIP-IT	· CMU과 VDR간 통신 프로토콜(ASIP) 시험	2008년 5월 PASS
	탑재장비 IF 시험	VDLM2-AS-IT	· 탑재장비 내부 인터페이스 시험 (AAS-CMU-VDR)	2008년 5월 PASS
	지상장비 IF 시험	VDLM2-GS-IT	· 지상장비 내부인터페이스 시험 (GAS-GDSP-GS)	2008년 6월 PASS

<표 3-7-1-3> 비행시험 추진 현황 종합(계속)

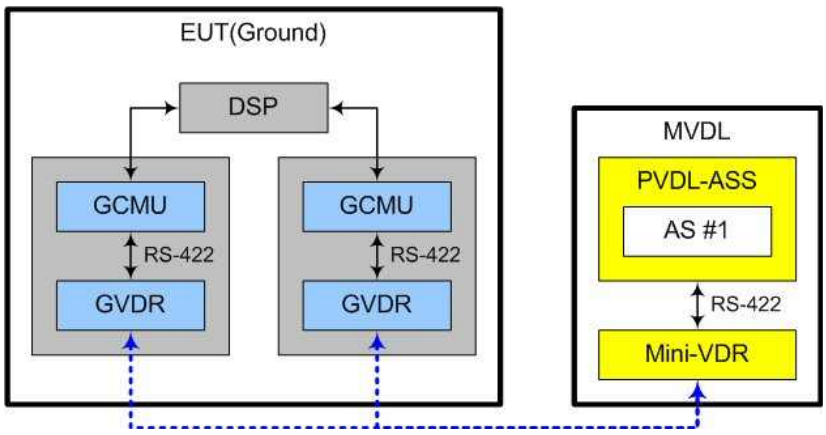
분류	시험명	시험절차/결과서 문서번호	시험내용	시험일자 결과
프로토콜 분석 시험	탑재장비 프로토콜 시험	VDLM2-AS-IT-sub1	· 지상시험감시장비를 이용한 개발 탑재장비의 프로토콜 검사시험	1, 2차 수행 2009. 1월 Pass
	지상장비 프로토콜 시험	VDLM2-GS-IT-sub1	· 탑재시험감시장비를 이용한 KARI 지상장비의 프로토콜 검사시험	1, 2차 수행 2009. 1월 Pass
지상 시험	1단계 지상시험 (실험실)	VDLM2-LT	· 탑재장비와 지상장비를 유선 연결하여 통합시험	1, 2차 수행 2009. 2월 Pass
	2단계 지상시험	VDLM2-GT	· 탑재장비를 차량에 장착 후, 저속 및 고속 주행하면서 종합적인 통신성능 확인	2009. 3월 Pass
환경 시험	탑재장비 환경시험	VDLM2-AS-ET	· 탑재장비 환경요구 조건 만족 확인 시험	2008. 11~ 2009년 5월 Pass
	지상장비 환경시험	VDLM2-GS-ET	· 지상장비 환경요구 조건 만족 확인 시험	2008. 11~ 2009년 5월 Pass
운용 시험	항공기 탑재시험	VDLM2-FT-Sub1	· 탑재장비를 항공기에 장착하고 지상국 통합시험	2009.4.17(1회) 2009.4.23(2회) PASS
	공항시설 호환성 시험	VDLM2-FT-Sub2	· PDC 서비스 시스템과 VDL M2장비와 호환성 시험	2009.5.7~8 PASS
	민항기와 호환성 시험	VDLM2-FT-Sub3	· 민항기의 탑재장비와 VDL M2 지상장비의 호환성 시험(PDC기능 적용)	2009.6.2~4 PASS

2. 프로토콜 분석 시험

프로토콜 분석 시험은 개발된 항공기 및 지상 시스템이 VDL M2 규격에 부합하는지를 검사하는 시험으로 RTCA DO-224B와 DO-281A에 명시된 요구사항과 시험항목을 기준으로 수행되었다. 특히 DO-224B에 강제사항(Mandatory)으로 정의된 모든 항목에 대해서는 빠짐없이 시험을 수행하였다. 성능과 기능이 검증된 참조(Reference) 장비로 호주 ADS사의 MVDL 시스템을 사용하였다. 프로토콜 분석 시험은 탑재장비 시험과 지상장비 시험으로 구분된다. 탑재장비 프로토콜 시험형상과 지상장비 프로토콜 시험형상은 <그림 3-7-2-1> 및 <그림 3-7-2-2>와 같다.



<그림 3-7-2-1> 탑재장비 프로토콜 시험 형상



<그림 3-7-2-2> 탑재장비 프로토콜 시험 형상

○ EUT (Equipment Under Test) : EUT는 시험 대상이 되는 장비로, 현재

시스템에서는 ACMU와 AVDR을 포함하는 탑재 시스템을 의미한다.

- ○ MVDL : VDL M2 프로토콜 시험을 위한 검증장비로, CMU에 해당되는 구동용 소프트웨어와 mini-VDR로 구성된다. 구동용 소프트웨어는 탑재와 지상이 별도로 구분되어 있으며, 지상 소프트웨어는 PVDL-GSS, 탑재 소프트웨어는 PVDL-ASS이다. 모든 소프트웨어는 상대 장비와의 통신을 위한 Interactive 모드와 데이터 감시를 위한 Monitoring 모드를 가지고 있다. 프로토콜 분석시험에서는 PVDL-GSS를 탑재 장비 프로토콜 분석에 활용하고, PVDL-ASS를 지상 장비 프로토콜 분석에 이용하였으며 모두 Interactive 모드로 동작하도록 구성하였다. 이후 시험에 있어서는 PVDL-GSS 소프트웨어에서 Monitoring 기능을 이용하여 시험 데이터를 확인하는데 이용하였다.

프로토콜 분석장치의 PVDL-GSS는 두 개의 GS까지 지원되므로, 핸드오프 테스트를 수행할 수 있다. 정상적인 AVLC 프레임 뿐 아니라 에러를 유발하는 비정상적인 AVLC 프레임도 생성할 수 있어서 프로토콜 시험에 있어서 매우 유용하다. 따라서 단품시험이나 지상통합시험 등에서 수행할 수 없는 다양한 시험 항목에 대해서 시험이 가능하다. 탑재장비와 지상장비에 있어서 대부분의 시험 항목은 탑재와 지상에서 동일하나 TG3와 TG4는 지상장비에만 적용되며, 절차에 있어서도 그 내용이 약간 다르다. <표 3-7-2-1>과 <표 3-7-2-2>는 각각 탑재장비와 지상장비의 프로토콜 분석 시험 결과를 보인 것이다. DO-224B의 요구항목에 대해 모두 만족한 결과를 보임을 알 수 있다.

<표 3-7-2-1> 탑재 장비 프로토콜 분석 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
프레임 시퀀싱	중복된 프레임은 버리고 모든 프레임은 1회씩 순서대로 정상적으로 전달되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.1	MVDL에서 중복된 프레임을 발생시키더라도 탑재장비에서 이를 무시함을 확인함. 탑재장비에서 송신하는 모든 프레임은 시퀀스에 맞게 전송됨을 MVDL 분석 장비를 통해 확인함	합격
에러 검출	FCS가 맞지 않는 프레임을 제거하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.2	MVDL에서 임의로 FCS가 맞지 않는 프레임을 전송하면 탑재장비는 이에 오류를 출력하고 데이터는 무시함.	합격
데이터 전송	INFO, UI, XID 프레임의 정보 필드가 전송되어야 한다. 2,048 크기의 옥텟은 분할없이 전송되어야 한다. INFO 프레임에는 오직 1개의 사용자 패킷만이 포함되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.5	2,048 크기의 옥텟을 전송하여 분할없이 전송되었음. 연속된 짧은 데이터 항목들에 대해 각각의 INFO 프레임이 생성되었음. 데이터 내용은 MVDL에서 확인하였음.	합격
기지국 ID	자신의 주소로 수신되지 않은 데이터에 대해서는 처리하지 않아야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.3	MVDL에서 탑재장비 주소값을 다르게 설정하여 보내면 이를 무시하였음.	합격
타이머 T1	INFO 프레임을 전송한 후 응답이 수신되지 않으면 T1 시간마다 프레임을 재전송하고, 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.1	MVDL에서 응답하지 않을 경우에 T1 타이머 간격을 확인하였고, RR 응답시 재전송을 멈추는지 확인하였음.	합격

<표 3-7-2-1> 탑재 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
파라미터 T2	INFO 프레임을 수신하면 T2 시간내에 RR 또는 INFO 프레임으로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.2	MVDL에서 INFO를 송신하고, INFO 송신 시간과 RR 수신시간 차를 측정하여 약 T2와 동일함을 확인함. (미미한 오차는 전파 전송시간으로 판단할 수 있음)	합격
타이머 T3	XID_CMD 프레임을 전송한 후 응답을 수신하지 않으면 T3 시간마다 해당 프레임을 재전송하여야 한다. 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.3	탑재 장비에서 XID_CMD 프레임을 전송 한 후 MVDL이 응답하지 않을 때, XID_CMD의 재전송 시간간격이 T3 조건을 만족하고, 응답을 수신한 후 재전송을 중단하였음.	합격
타이머 T4	ABM, SRM, FRM 모드에 따라 수신되는 프레임이 없는 상태에서 T4 시간간격에 따라 지속적으로 더 이상 보낼 메시지가 있는지를 물어보는 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.4	T4 시간동안 수신된 프레임이 없을 경우, ABM 모드에서는 RR(P=1)을, SRM 모드에서는 SREJ(P=1), FRM 모드에서는 FRMR(P=1)을 전송함을 확인하였음.	합격
파라미터 N1	N1 파라미터가 정상적으로 설정되고, N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 전송되어야 한다. N1보다 큰 프레임을 수신하면 FRMR 프레임을 송신하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.5	MVDL에서 설정한 N1 파라미터값이 항공기 시스템에 적용됨을 확인함. N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 처리되지만 N1 보다 큰 프레임은 처리되지 않고, FRM 모드에서 FRMR 프레임이 전송되었음.	합격

<표 3-7-2-1> 탑재 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
카운터 N2	T1, T3 타이머에 따른 프레임의 재전송에 있어 가능한 총 전송횟수는 N2회여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.6	T1, T3 타이머에 의해 재전송되고, 총 전송횟수는 N2회가 됨을 MVDL을 통해 확인함.	합격
파라미터 k	응답 없이 최대 전송 가능한 프레임의 개수는 k 개여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.7	MVDL 응답이 없는 상황에서 탑재장비가 k 개의 프레임까지 전송을 요청하고, 그 후의 프레임은 무시함을 확인함.	합격
DISC 프레임	DISC를 송수신하는 시스템은 현재 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.1	MVDL에서 DISC 송신시 탑재장비 링크를 종료하고, 탑재장비에서 DISC를 송신한 후 링크를 종료하였음	합격
DM 프레임	현재 링크가 없을 때, 데이터를 수신하면 DM 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.2	링크가 없는 상태에서 MVDL에서 탑재장비로 INFO 프레임을 전송했을 때 탑재장비가 DM 프레임을 전송함을 확인함	합격
SRM 모드	전송 중 누락된 INFO 프레임에 대해서는 SREJ 프레임을 보내어 재전송을 요청하여야 하며, SREJ 프레임을 받으면 요청된 프레임에 대해 재전송을 수행하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.4	MVDL에서 INFO 프레임을 전송할 때 일부러 데이터를 누락하여 보내면 누락된 프레임에 대해 하나, 연속된 두 개 이상 프레임, 비연속된 두 개 이상 프레임에 대해 재전송을 요청하였음. 탑재장비가 INFO를 연속적으로 전송했을 때 MVDL에서 SREJ 프레임을 송신하면 해당 INFO 프레임을 재전송함을 확인하였음.	합격

<표 3-7-2-1> 탑재 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
FRM 모드	FCS 에러 외의 현재 링크에 문제가 있다고 판단되면 FRMR 프레임을 보내어 링크를 거절한다. FRMR을 받은 수신국은 UA를 보내어 링크를 초기화한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.3	MVDL에서 크기가 N1 초과된 프레임, N(R)이 맞지않는 프레임을 전송하면 탑재장비가 FRMR을 보내어 링크를 거절함을 확인함. MVDL에서 FRMR을 보내면 탑재장비가 UA를 보내어 링크를 초기화하였음.	합격
P/F 비트	반드시 응답을 요하는 프레임에 대해서는 P=1로 설정하고, P=1 프레임에 대해서는 F=1로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.6	수신응답이 없을 때 연속적인 k개의 프레임에 대해 k-1개 프레임은 P=0이며, k번째 프레임은 P=1로 전송됨을 확인하였고, P=0에 대해서는 F=0 응답을 P=1에 대해서는 F=0 응답을 수신함을 확인하였음.	합격
XID 프레임 처리	지상에서 XID 프레임을 통해 설정한 파라미터 값이 탑재장비에 적용되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.8	MVDL에서 파라미터를 변경하여 GSIF를 보내면 탑재장비는 이를 반영하여 새로운 링크를 설립하였음. 파라미터 설저값은 탑재 모니터링 장비로 확인함.	합격
브로드캐스트 주소 지원	탑재와 항공국 모두 수신할 수 있는 브로드캐스트 주소를 지원하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.4	브로드캐스트 주소로 전송되는 GSIF 프레임에 대해 수신하는 모든 항공기가 응답할 수 있음을 확인하였음.	합격

<표 3-7-2-1> 탑재 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
타이머 TG2	정상적인 링크 상태에서 TG2 시간(상대 station으로부터 아무런 frame의 수신없이 정보를 유지하는 최대 시간)이 지날 때까지 아무런 프레임을 수신하지 못하면 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.2	링크 설립 후 일정시간동안 MVDL에서 아무 데이터 보내지 않으면 탑재장비에서 링크를 임의로 종료하였으며, 이 시간차는 TG2와 일치하였음. 이 후 MVDL에서 프레임을 전송하면 DM 응답을 수신하는지 확인하였음.	합격
타이머 TG5	핸드오프를 하는 동안 기존링크를 유지하는 최대 시간은 TG5이다.	DO-224B 3.2.2.5.3.5	탑재장비의 핸드오프 완료후 기존링크 유지시간이 Initiated의 경우 TG5 Initiating과 일치하고, Responding인 경우 TG5 Responding과 일치함을 확인하였음.	합격
링크 파라미터 변경 명령 처리	링크 파라미터 변경 명령을 수신하면 프레임의 내용에 따라 탑재장비의 링크 파라미터를 변경하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.5.2	XID_CMD_LPM에서 수정한 내용이 항공기에 적용되는지 확인하였음.	합격

<표 3-7-2-2> 지상 장비 프로토콜 분석 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
프레임 시퀀싱	중복된 프레임은 버리고 모든 프레임은 1회씩 순서대로 정상적으로 전달되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.1	MVDL에서 중복된 프레임을 발생시키더라도 지상장비에서 이를 무시함을 확인함. 지상장비에서 송신하는 모든 프레임은 시퀀스에 맞게 전송됨을 MVDL 분석 장비를 통해 확인함.	합격
에러 검출	FCS가 맞지 않는 프레임을 제거하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.2	MVDL에서 임의로 FCS가 맞지 않는 프레임을 전송하면 지상장비는 이에 오류를 출력하고 데이터는 무시함.	합격
데이터 전송	INFO, UI, XID 프레임의 정보 필드가 전송되어야 한다. 2,048 크기의 옥텟은 분할없이 전송되어야 한다. INFO 프레임에는 오직 1개의 사용자 패킷만이 포함되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.5	2,048 크기의 옥텟을 전송하여 분할없이 전송되었음. 연속된 짧은 데이터 항목들에 대해 각각의 INFO 프레임이 생성되었음. 데이터 내용은 MVDL에서 확인하였음.	합격
기지국 ID	자신의 주소로 수신되지 않은 데이터에 대해서는 처리하지 않아야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.3	MVDL에서 지상장비 주소값을 다르게 설정하여 보내면 이를 무시하였음.	합격
타이머 T1	INFO 프레임을 전송한 후 응답이 수신되지 않으면 T1 시간마다 프레임을 재전송하고, 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.1	MVDL에서 응답하지 않을 경우에 T1 타이머 간격을 확인하였고, RR 응답시 재전송을 멈추는지 확인하였음.	합격

<표 3-7-2-2> 지상 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
파라미터 T2	INFO 프레임을 수신하면 T2 시간내에 RR 또는 INFO 프레임으로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.2	MVDL에서 INFO를 송신하고, INFO 송신시간과 RR 수신시간차를 측정하여 약 T2와 동일함을 확인함. (미미한 오차는 전파 전송시간으로 판단할 수 있음)	합격
타이머 T3	XID_CMD 프레임을 전송한 후 응답을 수신하지 않으면 T3 시간마다 해당 프레임을 재전송하여야 한다. 응답을 받으면 재전송을 멈추어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.3	지상 장비에서 XID_CMD 프레임을 전송 한 후 MVDL이 응답하지 않을 때, 해당 프레임의 재전송 시간간격이 T3 조건을 만족하고, 응답을 수신한 후 재전송을 중단하였음.	합격
타이머 T4	ABM, SRM, FRM 모드에 따라 수신되는 프레임이 없는 상태에서 T4 시간간격에 따라 지속적으로 더 이상 보낼 메시지가 있는지를 물어보는 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.4	T4 시간동안 수신된 프레임이 없을 경우, ABM 모드에서는 RR(P=1)을, SRM 모드에서는 SREJ(P=1), FRM 모드에서는 FRMR(P=1)을 전송함을 확인하였음.	합격
파라미터 N1	N1 파라미터가 정상적으로 설정되고, N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 전송되어야 한다. N1보다 큰 프레임을 수신하면 FRMR 프레임을 송신하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.5	지상장비에서 설정한 N1 파라미터값이 MVDL에 적용됨을 확인함. N1 보다 작은 프레임은 정상적으로 처리되지만 N1 보다 큰 프레임은 처리되지 않고, FRM 모드에서 FRMR 프레임이 전송되었음.	합격

<표 3-7-2-2> 지상 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
카운터 N2	T1, T3 타이머에 따른 프레임의 재전송에 있어 가능한 총 전송횟수는 N2회여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.6	T1, T3 타이머에 의해 재전송되고, 총 전송횟수는 N2회가 됨을 MVDL을 통해 확인함.	합격
파라미터 k	응답 없이 최대 전송 가능한 프레임의 개수는 k 개여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.3.7	MVDL 응답이 없는 상황에서 지상장비가 k 개의 프레임까지 전송을 요청하고, 그 후의 프레임은 무시함을 확인함.	합격
DISC 프레임	DISC를 송수신하는 시스템은 현재 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.1	MVDL에서 DISC 송신시 지상장비 링크를 종료하고, 지상장비에서 DISC를 송신한 후 링크를 종료하였음	합격
DM 프레임	현재 링크가 없을 때, 데이터를 수신하면 DM 프레임을 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.2	링크가 없는 상태에서 MVDL에서 지상장비로 INFO 프레임을 전송했을 때 지상장비가 DM 프레임을 전송함을 확인함	합격
SRM 모드	전송 중 누락된 INFO 프레임에 대해서는 SREJ 프레임을 보내어 재전송을 요청하여야 하며, SREJ 프레임을 받으면 요청된 프레임에 대해 재전송을 수행하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.4	MVDL에서 INFO 프레임을 전송할 때 일부러 데이터를 누락하여 보내면 누락된 프레임에 대해 하나, 연속된 두 개 이상 프레임, 비연속된 두 개 이상 프레임에 대해 재전송을 요청하였음. 지상장비가 INFO를 연속적으로 전송했을 때 MVDL에서 SREJ 프레임을 송신하면 해당 INFO 프레임을 재전송함을 확인하였음.	합격

<표 3-7-2-2> 지상 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

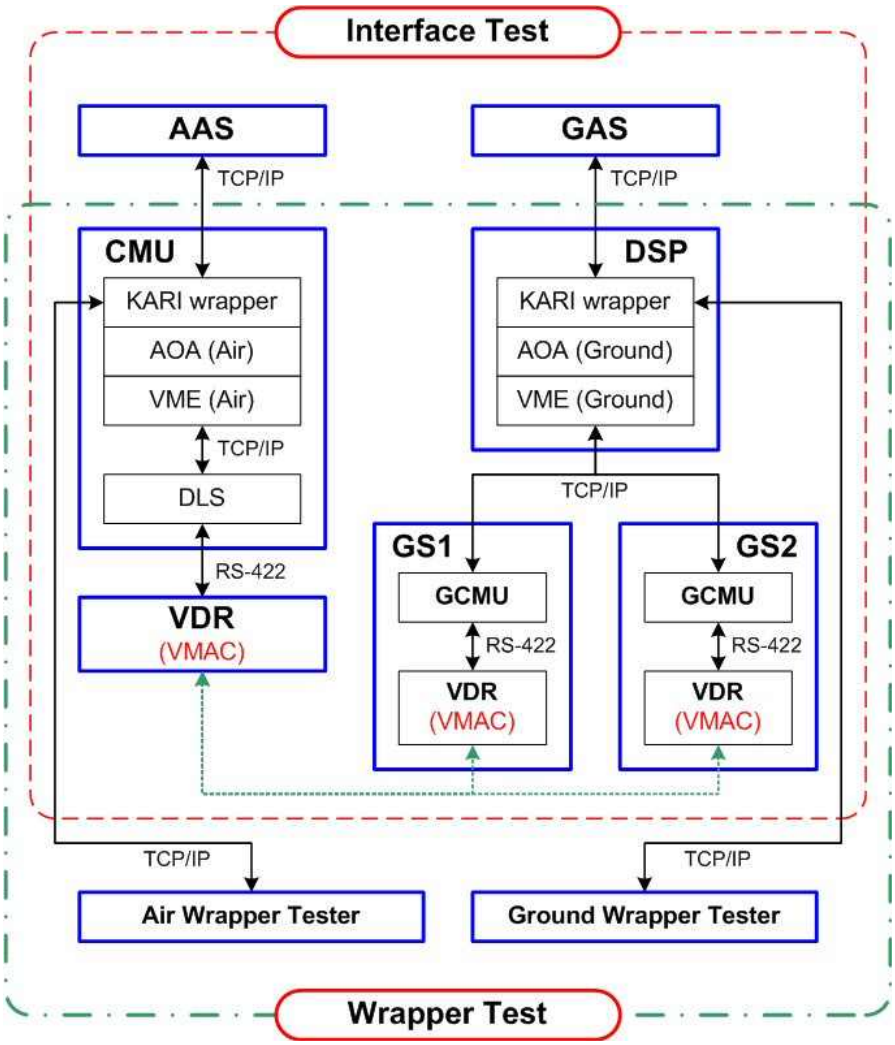
시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
FRM 모드	FCS 에러 외의 현재 링크에 문제가 있다고 판단되면 FRMR 프레임을 보내어 링크를 거절한다. FRMR을 받은 수신국은 UA를 보내어 링크를 초기화한다.	DO-224B 3.2.2.4.5.2.3	MVDL에서 크기가 N1 초과된 프레임, N(R)이 맞지않는 프레임을 전송하면 지상장비가 FRMR을 보내어 링크를 거절함을 확인함. MVDL에서 FRMR을 보내면 지상장비가 UA를 보내어 링크를 초기화하였음.	합격
P/F 비트	반드시 응답을 요하는 프레임에 대해서는 P=1로 설정하고, P=1 프레임에 대해서는 F=1로 응답하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.6	수신응답이 없을 때 연속적인 k개의 프레임에 대해 k-1개 프레임은 P=0이며, k번째 프레임은 P=1로 전송됨을 확인하였고, P=0에 대해서는 F=0 응답을 P=1에 대해서는 F=0 응답을 수신함을 확인하였음.	합격
XID 프레임 처리	지상에서 XID 프레임을 통해 설정한 파라미터 값이 탑재장비에 적용되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.8	MVDL에서 파라미터를 변경하여 GSIF를 보내면 지상장비는 이를 반영하여 새로운 링크를 설립하였음. 파라미터 설저값은 지상 모니터링 장비로 확인함.	합격
브로드캐스트 주소 지원	탑재와 항공국 모두 수신할 수 있는 브로드캐스트 주소를 지원하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.4.1.4	지상장비에서 브로드캐스트 주소를 갖는 GSIF 프레임을 송신할 수 있음을 확인하였고, 이를 MVDL 시스템에서 인식할 수 있음을 확인함.	합격

<표 3-7-2-2> 지상 장비 프로토콜 분석 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
타이머 TG2	정상적인 링크 상태에서 TG2 시간(상대 station으로부터 아무런 frame의 수신없이 정보를 유지하는 최대 시간)이 지날 때까지 아무런 프레임을 수신하지 못하면 링크를 종료하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.2	링크 설립 후 일정시간동안 MVDL에서 아무 데이터 보내지 않으면 지상장비에서 링크를 임의로 종료하였으며, 이 시간차는 TG2와 일치하였음. 이 후 MVDL에서 프레임을 전송하면 DM 응답을 수신하는지 확인하였음.	합격
타이머 TG3	지상국에서 마지막으로 데이터를 전송한 다음 데이터가 없을 경우 TG3 시간내에 GSIF를 전송하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.3	링크 설립 후 마지막 데이터 전송 후 GSIF 전송이 TG3 이내임을 확인함.	합격
타이머 TG4	마지막 GSIF가 전송된 후 TG4 시간내에 GSIF가 전송되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.3.4	링크가 설립된 상태에서 데이터를 전송하는 경우와 전송하지 않는 경우에 대해 GSIF가 TG4 시간 간격에 따라 전송되었음	합격
타이머 TG5	핸드오프를 하는 동안 기존링크를 유지하는 최대 시간은 TG5이다.	DO-224B 3.2.2.5.3.5	지상장비의 핸드오프 완료후 기존링크 유지시간이 Initiated의 경우 TG5 Initiating과 일치하고, Responding인 경우 TG5 Responding과 일치함을 확인하였음.	합격
링크 파라미터 변경 명령 처리	링크 파라미터 변경 명령을 수신하면 프레임의 내용에 따라 탑재장비의 링크 파라미터를 변경하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.5.2	링크 파라미터를 변경하면 XID_CMD_LPM에 해당 내용이 반영되어 전송되고, 이 내용은 MVDL에 전달됨을 확인하였음.	합격

3. 인터페이스 시험

인터페이스 시험은 개발된 지상 시스템과 탑재 시스템간의 연동성을 검증하기 위한 시험이다. 인터페이스 시험에 앞서 VDL M2 프로토콜 적합성 시험을 마쳤기 때문에 이 시험을 통해 개발된 지상-탑재 시스템간 연동성을 확인하는 과정을 마치면 VDL M2 장비로서의 기능적인 측면은 완료되었다고 판단할 수 있다. 인터페이스 시험에 있어서는 앞서 수행된 장비 자체의 단품시험, 프로토콜 적합성 시험을 통해 입증된 항목에 대해서는 생략할 수 있다. 여기서는 야외 시험 전 준비단계로 링크 설립, 해제, 핸드오프, 데이터 전송, 운용시스템 연동성 및 운용 시스템간 데이터 전송에 대해 확인하였다. 인터페이스 시험은 탑재와 지상 시스템에 대해 별도의 시험절차서를 갖추고는 있지만 시험을 위해 탑재와 지상시스템이 동시에 사용되므로 본 절에서는 통합된 시스템 개념에서의 인터페이스 시험과 시험항목에 대해 기술한다. <그림 3-7-3-1>은 인터페이스 시험 구성도이다. 시험 구성도에서 볼 수 있듯이 인터페이스 시험은 VDL M2 링크 및 운용시험장비 레벨에서의 통신 시험과 Wrapper 시스템과 운용시험장비간 인터페이스 시험으로 구성된다. Wrapper 인터페이스 시험은 전체 시험과는 별도로 오프라인 상에서 수행된다. 인터페이스 시험에는 1:1 링크에서의 운용시험장비 데이터 송수신 시험, 핸드오프 전후의 운용시험장비 데이터 송수신 시험, 링크 종료시의 운용시험장비 동작에 관한 시험을 포함한다. 인터페이스 시험 항목과 시험결과는 <표 3-7-3-1>과 같다.



<그림 3-7-3-1> 인터페이스 시험 구성도

<표 3-7-3-1> 인터페이스 시험결과

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
링크 설립	항공기는 가장먼저 GSIF가 수신된 GS로의 링크 설립을 요청하고, 응답을 받으면 링크를 설립하여야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.4	항공기 1대와 지상국 2대를 연결함. 가장먼저 GSIF를 송신한 지상국으로 항공기가 링크설립을 시도하였음.	합격
데이터 송수신	링크가 설립된 상태에서 1:1 통신을 통한 데이터 전송이 가능하여야 한다.	General	1:1 링크 설립상태에서 지상국과 항공국이 각각 데이터를 송신하고 수신할 수 있음을 확인하였음. 송신한 데이터에 대해 정상적인 응답이 발생함.	합격
Ground-Initiated Handoff	Ground Initiated 핸드오프 절차가 정상적으로 수행되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.8	두 개의 지상국이 있을 때, 지상에서 새로운 지상국으로의 핸드오프 명령을 송신하였을 때 항공기는 이에 응하여 핸드오프를 수행 완료하였음.	합격
Aircraft-Initiated Handoff	Aircraft Initiated 핸드오프 절차가 정상적으로 수행되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.6	두 개의 지상국이 있을 때, 항공기에서 새로운 지상국으로 핸드오프 명령을 송신하였을 때 지상국은 이에 응하여 핸드오프를 수행 완료하였음.	합격
KARI Wrapper Code 준비 시험	KARI Wrapper는 항공기 탑재 운용 프로그램으로부터 수신한 메시지를 AOA 모듈을 통해 지상으로 정확하게 전달하여야 한다.	-	KARI-Wrapper 코드와 운용시험장비를 연결하여, 운용시험장비 데이터가 Wrapper 코드와 AOA 모듈을 통해 지상국으로 정상적으로 전달되는지를 확인함.	합격

<표 3-7-3-1> 인터페이스 시험결과 (계속)

시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
운용시험장비 초기화 시험	KARI Wrapper는 항공기 운용 프로그램으로부터 수신한 메시지를 AOA 모듈을 통해 정확하게 전달하여야 한다.	-	탑재 운용 프로그램을 연결하고 탑재 운용 프로그램에서 설정한 값이 AOA 모듈을 통해 정확히 출력되는지를 확인하였음.	합격
VME 링크 설립	VME 링크 설립이 정상적으로 진행되어야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.4	DSP, Ground Station, 을 통해 항공국과 1:1 링크 설립이 이루어짐을 확인하였음.	합격
운용시험장비 링크 설립	VDL M2 링크가 설립된 상태에서 운용시험장비와 VDL M2 장비간 TCP/IP를 이용한 통신이 정상적으로 수행되어야 한다.	-	1:1 VDL M2 링크가 설립된 상태에서 지상 운용시험장비와 탑재 운용시험장비를 각각 켜고 VDL M2 시스템에 TCP/IP를 통해 정상적으로 연결됨을 확인하였음.	합격
운용시험장비 데이터 송수신	운용시험장비 로그온을 통해 탑재와 지상운용시험장비간 데이터 전송이 원활하여야 한다.	-	탑재운용시험장비에서 Log On을 수행하면 지상운용시험장비에서 이를 수용하고, 로그온이 완료된 상태에서 각종 CPDLC 메시지와 ADS 메시지가 송수신됨을 확인하였음.	합격
운용시험장비 연결중의 Ground-Initiated Handoff	Ground-Initiated 핸드오프 상황에서도 운용시험장비의 연결은 종료되지 않고 정상적인 데이터 송수신이 이루어져야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.8	운용시험장비 데이터 송수신 과정을 반복하면서 Ground Initiated 핸드오프를 수행한 결과, 핸드오프 수행과정, 수행완료시에 모두 정상적인 데이터 송수신이 이루어짐을 확인하였음.	합격

<표 3-7-3-1> 인터페이스 시험결과 (계속)

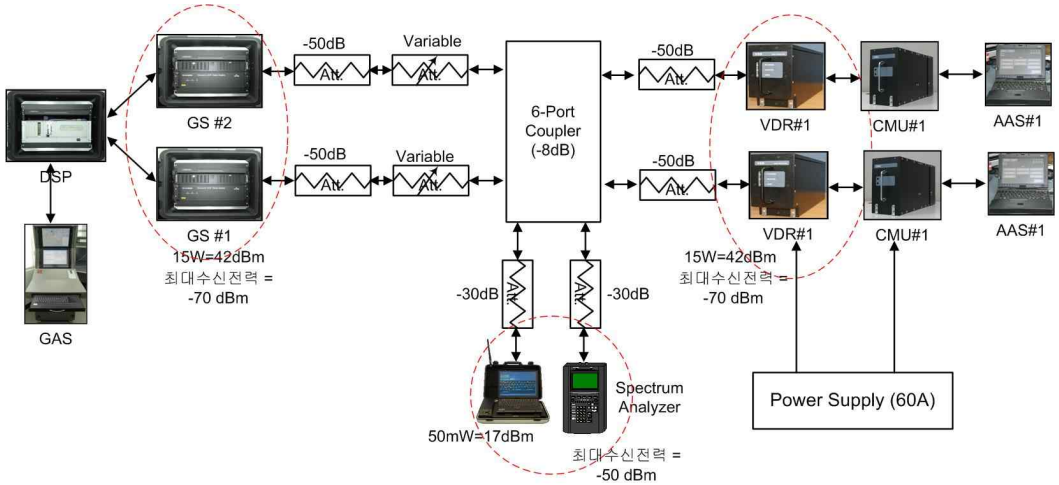
시험항목	규격		결과	
	내용	참고문서	내용	결과
운용시험장비 연결중의 Aircraft-Initiated Handoff	Aircraft-Initiated 핸드오프 상황에서도 운용시험장비의 연결은 종료되지 않고 정상적인 데이터 송수신이 이루어져야 한다.	DO-224B 3.2.2.5.4.6	운용시험장비 데이터 송수신 과정을 반복하면서 Aircraft Initiated 핸드오프를 수행한 결과, 핸드오프 수행과정, 수행완료시에 모두 정상적인 데이터 송수신이 이루어짐을 확인하였음.	합격
링크 종료	운용시험장비가 연결된 상태에서 링크를 종료하였다가 다시 개설하더라도 운용시험장비 데이터가 손실없이 전송될 수 있어야 한다.	-	운용시험장비 데이터 송수신 과정을 반복하면서 임의로 링크를 종료하였다가 일정시간을 대기한 후 다시 링크를 개설하면 AOA 단에서의 데이터 재전송을 통해 전송처리되지 못한 데이터들이 모두 손실없이 처리됨을 확인하였음	합격

4. 1단계 지상시험

본 시험은 VDL M2의 핵심기능인 링크설립과 핸드오프 등의 기본적인 기능이 정상적으로 작동하는지를 확인하기 위하여 수행되었다. 시험을 수행하기 위해 <그림 3-7-4-1>와 같이 실험실에 장비를 설치하였다. 이 시험을 통해 VDL M2의 핵심 기능뿐 만 아니라 운용시험장비의 응용컨텐츠인 AFN, CPDLC, ADS-C기능도 정상적으로 작동하는지도 검사하고자 한다.

가변 감쇄기는 핸드오프 기능 시험을 수행하기 위해서 장착되었으며 감쇄기 값을 높이면 수신단의 신호세기가 약해져 실제 항공기와 지상국 사이가의 거리가 증가하는 효과를 나타낸다. 따라서 가변 감쇄기 값을 증가시키면 탑재 수신기의 수신신호세기(RSS: Receiving Signal Strength)가 약해지게 되고, 항공국(AS:

Aircraft Station)의 다른 후보 지상국으로 핸드오프 절차를 수행하게 된다.



<그림 3-7-4-1> 1차 지상시험 형상

1단계 지상시험은 3차년도 연구종료 시점인 2008년 6월경에 1차 수행되었으나 구성품들 성능이 미흡하여 기능확인 정도의 시험만 수행하였다. 그리고 본격적인 시험은 2009년 2월 경에 한국항공우주연구원 추진1동 2층 실험실에서 2차로 수행되었으며 대부분의 기능과 성능은 본 시험을 통해 확인되었다. <그림 3-7-4-2>은 1단계 지상시험 수행 장면을 나타낸다.



<그림 3-7-4-2> 1단계 지상시험(2차) 장면

1단계 시험 결과는 <표 3-7-4-1>와 같이 요약 정리할 수 있으며, 여기서 요구한 모든 시험항목을 만족시킴을 보여 주고 있다.

<표 3-7-4-1> 1단계 지상시험 결과 종합

시험항목	시험내용	시험결과	비고
링크 설립	항공기들이 가장 먼저 GSIF가 수신된 GS로의 링크 설립을 요청하여, 응답을 받으면 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
프레임 시퀀싱	INFO 프레임의 프레임 시퀀싱이 요구사항을 만족하는지 확인한다.	합격	
스펙트럼과 SQP 측정	항공국(AS)과 지상국(AS)에 출력되는 신호의 스펙트럼을 측정하고 반송파 주파수가 설정한 주파수와 일치하는지 확인한다. 그리고, 항공국과 지상국에서 측정한 수신신호 세기의 SQP 값을 측정하고 정상적인 값이 나오는지 확인한다.	합격	
Ground-Initiated 핸드오프(b)	N2, TM2 만료에 의해 Ground-Initiated 핸드오프가 자동으로 수행되는지 확인한다.	합격	
지상국 주파수 같을 경우 Aircraft-Initiated 핸드오프	SQP 저하 및 N2만료에 의해 Aircraft-Initiated 핸드오프가 동일 주파수를 사용하는 GS간에 자동으로 수행되는지 확인한다.	합격	
지상국 주파수 다를 경우 Aircraft-Initiated 핸드오프(a)	SQP 저하 및 N2 만료에 의해 Aircraft-Initiated 핸드오프가 이종 주파수를 사용하는 GS간에 자동으로 수행되는지 확인한다.	합격	
운용시험장비 링크 설립	운용시험장비 링크 설립절차를 통해 항공기 운용시험장비가 지상운용시험장비에 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
CPDLC 데이터 송수신	고도, 속도 관제 및 비상상황과 관련하여 운용시험장비의 CPDLC 데이터 송수신 기능이 정상적으로 이루어지는지 확인한다.	합격	
링크 단절	링크가 단절되었을 때 운용시험장비에서 데이터 재전송을 시도하는지 확인한다.	합격	

5. 환경시험 및 전자기 간섭시험

가. 온도, 습도시험

온도, 습도시험은 VDR(VHF Digital Radio) 장비의 기능성능시험을 수행한 후에 개발규격서에 규정된 환경시험 요구사항을 만족하는지 여부를 입증하는 시험으로써, LIG 넥스원과 공동으로 수행하였고 관련 규격서는 RTCA DO-160D Section 4. Temperature and Altitude 와 RTCA DO-160D Section 6. Humidity 내용을 맞추어서 시험을 수행하였다.

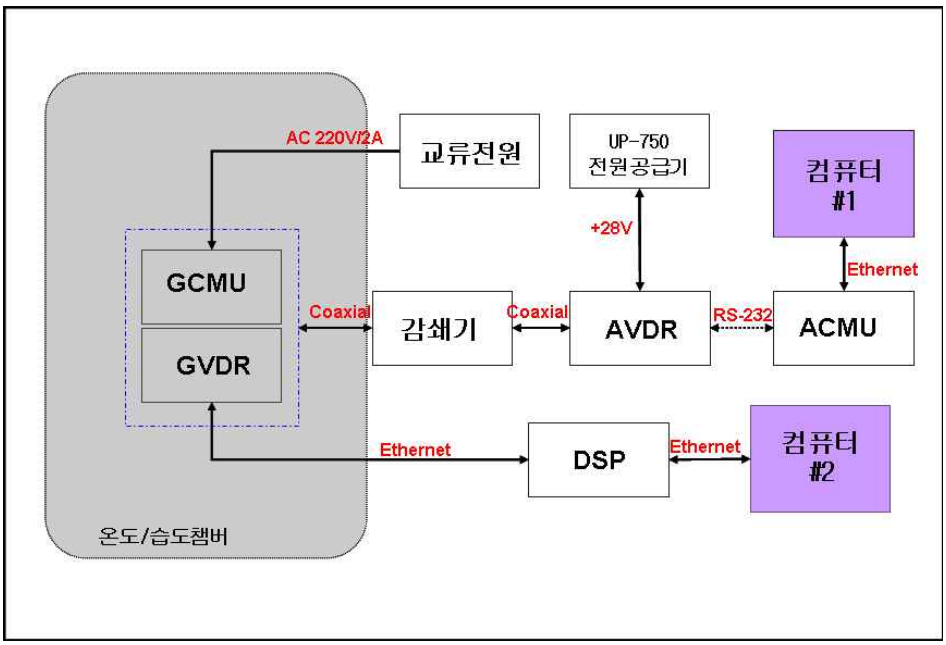
(1) 지상장비 온도,습도시험

(가) 고온시험

① 시험절차

○ 장비설치/연결

- 고온시험을 위한 장비설치 및 연결은 <그림 3-7-5-1>에 따른다.



<그림 3-7-5-1> 고온시험 장비설치 및 연결도

○ 초기상태

- 시험장비의 전원을 켜고 점검프로그램을 수행한다.

- 전원공급기의 전원을 +28VDC, 각 채널의 전류제한을 7A로 셋팅한다.

(나) 고온저장 시험

○ 시험절차는 DO-160D Paragraph 4.5.2와 다음의 <그림 3-7-5-2>에 따른다.

○ 시험 전 점검(PRE-TEST)

육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.
전기적 성능 시험 : GS 기능시험절차서의 검증항목을 시험한다.

○ 대상 시험물에 이상이 없으면 전원공급기의 전원을 끄고 챔버를 가동한다.

- 챔버의 온도를 저장온도인 70°C 까지 상승시킨다.(분당 3°C이내)

- 저장고온시간은 시험물의 온도의 안정화 시간에 3시간을 더한 4.5시간을 준다.

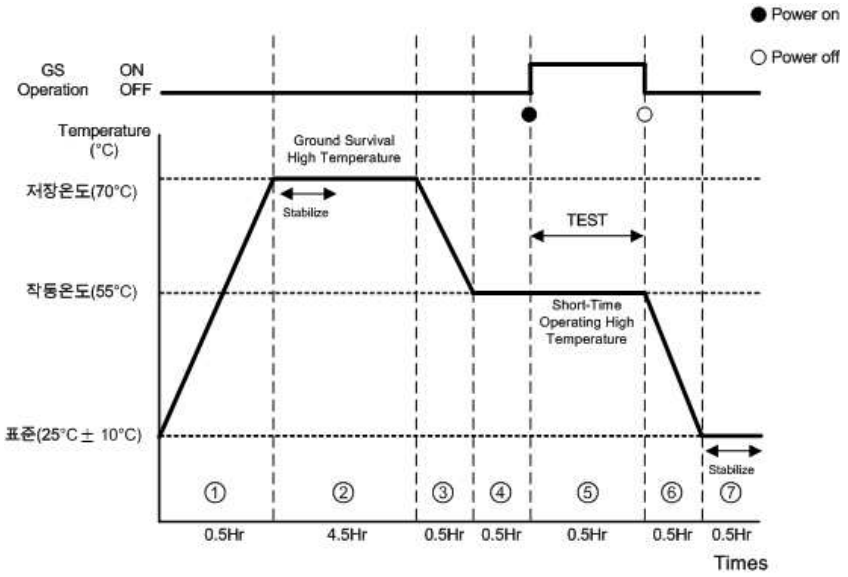
- 챔버의 온도를 작동온도인 55°C 까지 하강시킨다.(분당 3°C이내)

- 0.5시간을 대기한다..

- 본시험 시간으로 전원공급기의 전원을 켜고 0.5시간(30분) 동안 시험장비에 전원을 인가한 후 시험장비 성능시험을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.

- 본 시험 종료 후 GS의 전원을 끄고 챔버의 온도를 표준온도인 25°C 까지 하강시킨다.(분당 3°C이내)

- 시험물의 온도가 안정화되기 위해 안정화시간을 준다.



<그림 3-7-5-2> 고온저장 시험 온도그래프

○ 시험 후 점검(POST-TEST)

- 시험물의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

- 시험장비에 전원을 인가하여 GS 기능시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상-동작 여부를 성적서에 기록한다.

(다) 고온작동 시험

○ 시험절차는 DO-160D Paragraph 4.5.3과 다음의 <그림 3-7-5-3>에 따른다.

○ 시험 전 점검(PRE-TEST)

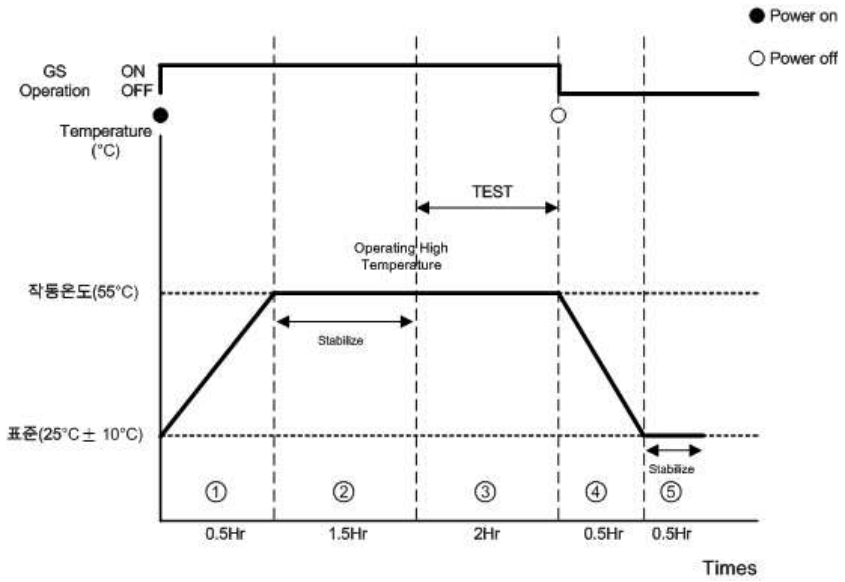
- 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

- 전기적 성능 시험 : GS 기능시험절차서의 검증항목을 시험한다.

○ 대상 시험물에 이상이 없으면 챔버를 가동한다.

- 전원공급기의 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한다. 그리고 챔버의 온도를 작동온도인 55°C 까지 상승시킨다.(분당 3°C이내)

- 시험물의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.
- 본시험 시간으로 온도가 안정화 된 후 2시간동안 GS 성능 항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.
- 본 시험 종료 후 GS의 전원을 끄고 챔버의 온도를 표준온도인 25℃ 까지 하강시킨다.(분당 3℃이내)
- 시험물의 온도가 안정화되기 위해 안정화시간을 준다.



<그림 3-7-5-3> 고온작동시험 온도그래프

○ 시험 후 점검(POST-TEST)

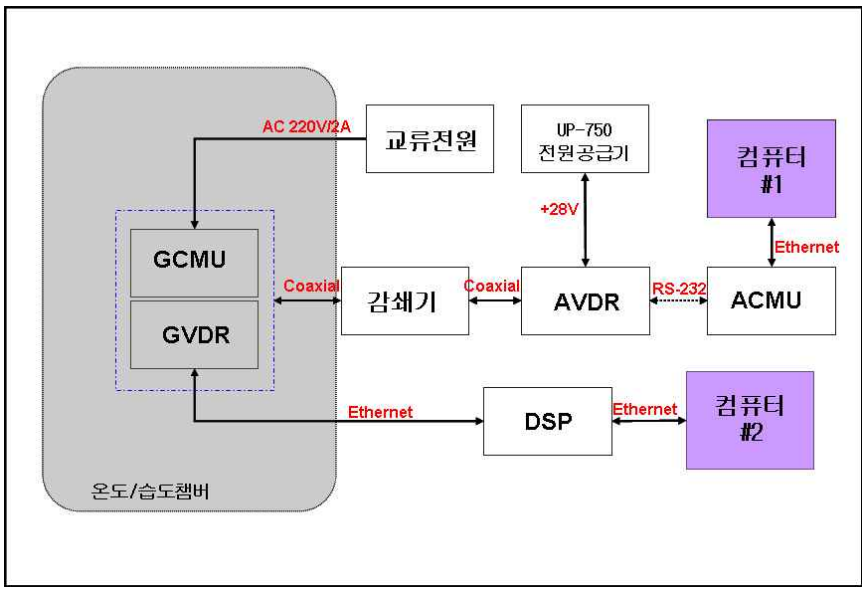
- 시험물의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.
- 시험장비에 전원을 인가하여 GS 기능시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

(라) 저온시험의 검증

① 시험절차

○ 장비설치/연결

- 저온시험을 위한 장비설치 및 연결은 <그림 3-7-5-4>에 따른다.



<그림 3-7-5-4> 저온시험 장비설치 및 연결도

② 초기상태

○ 시험장비의 전원을 켜고 점검프로그램을 수행한다.

○ 전원공급기의 전원을 +28VDC 각 채널의 전류제한을 7A로 셋팅한다.

(마) 저온저장 및 저온작동 시험

① 시험절차는 DO-160D Paragraph 4.5.1과 다음의 <그림 3-7-5-5>에 따른다.

② 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : GS 기능시험절차서의 검증항목을 시험한다.

③ 대상 시험물에 이상이 없으면 전원공급기의 전원을 끄고 챔버를 가동한다.

○ 챔버의 온도를 저장온도인 -40℃ 까지 하강시킨다.(분당 3℃이내)

○ 저장저온시간은 시험물의 온도의 안정화 시간에 3시간을 더한 4.5시간을 준다.

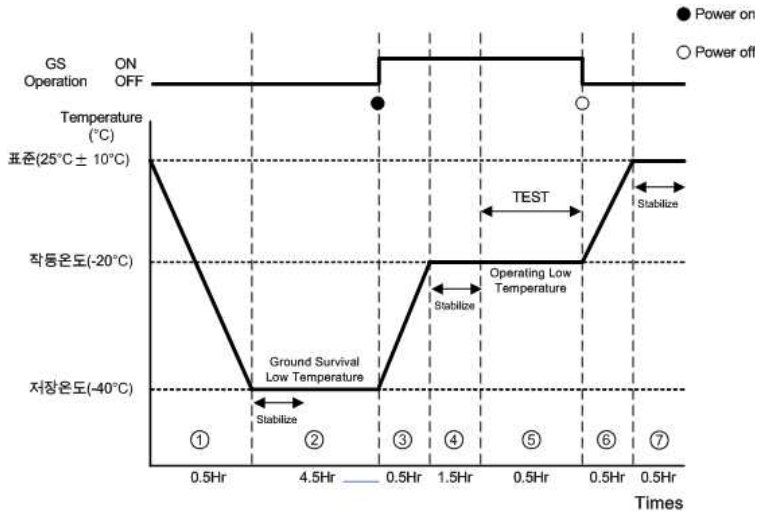
○ 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한 후 챔버의 온도를 작동온도인 -20℃ 까지 상승시킨다.(분당 3℃이내)

○ 시험물의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 본시험 시간으로 0.5시간동안 시험장비 프로그램을 동작하여 정상동작 여부를 확인한다.

○ 본 시험 종료 후 시험장비 전원을 끄고 챔버의 온도를 표준온도인 25℃ 까지 상승시킨다.(분당 3℃이내)

○ 시험물의 온도가 안정화되기 위해 안정화시간을 준다.



<그림 3-7-5-5> 저온저장 및 저온작동시험 온도그래프

④ 시험 후 점검(POST-TEST)

○ 시험물의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

○ 시험장비에 전원을 인가하여 GS 기능시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 GS 기능 성적서에 기록한다.

(바) 습도 시험

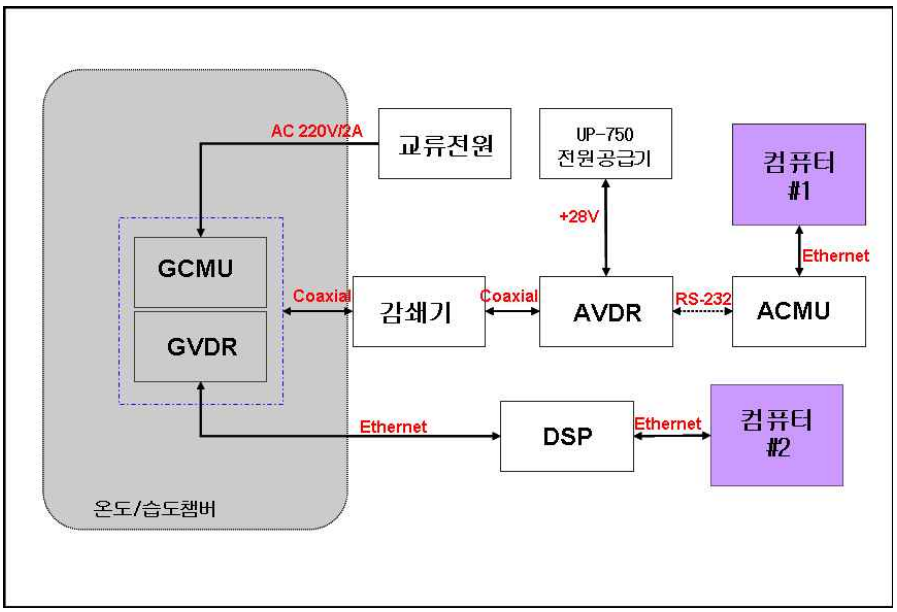
○ 시험절차는 DO-160D Paragraph 6.3.1과 다음의 <그림 3-7-5-6>. <그림 3-7-5-7>에 따른다.

○ 시험 전 점검(PRE-TEST)

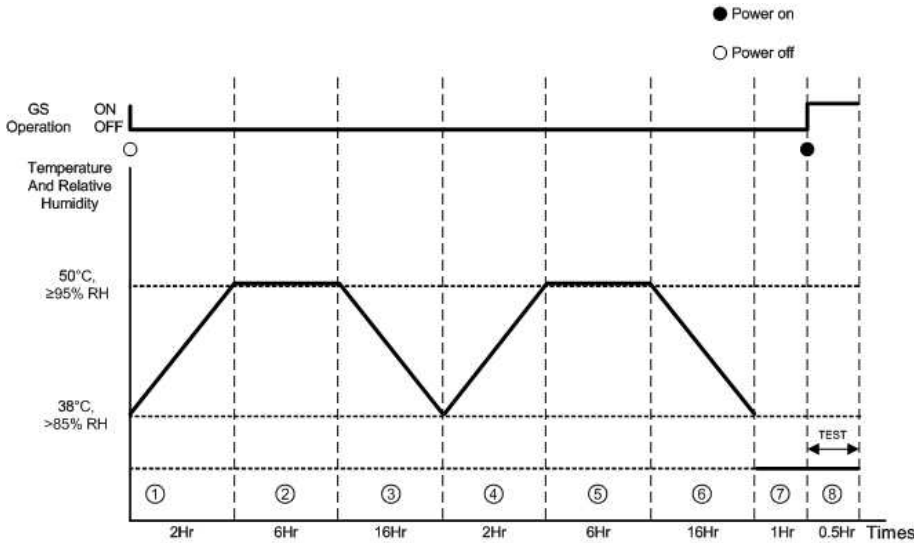
- 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

- 전기적 성능 시험 : GS기능시험절차서의 검증항목을 시험한다.

○ 대상 시험물에 이상이 없으면 전원공급기의 전원을 끄고 챔버를 가동한다.



<그림 3-7-5-6> 습도시험 장비설치 및 연결도



<그림 3-7-5-7> 습도시험 그래프

- 두시간에 걸쳐 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 상승시킨다.
- 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 6시간동안 유지한다.
- 챔버의 온도를 38°C 까지 하강시키고 상대습도를 85%로 16시간을 유지한다.
- 다시 두시간에 걸쳐 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 상승시킨다.
- 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 6시간동안 유지한다.
- 챔버의 온도를 38°C 까지 하강시키고 상대습도를 85%로 16시간을 유지한다.
- 2주기의 환경 조건이 끝난 후 챔버의 문을 열어 환경조건을 제거한다. 1시간 내에 전원공급기의 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한 후 15분을 유지한다.
- GS 기능시험절차서의 검증항목을 수행하여 요구조건을 만족하는지 확인한다.

○ 시험 후 점검(POST-TEST)

- 시험물의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를

수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

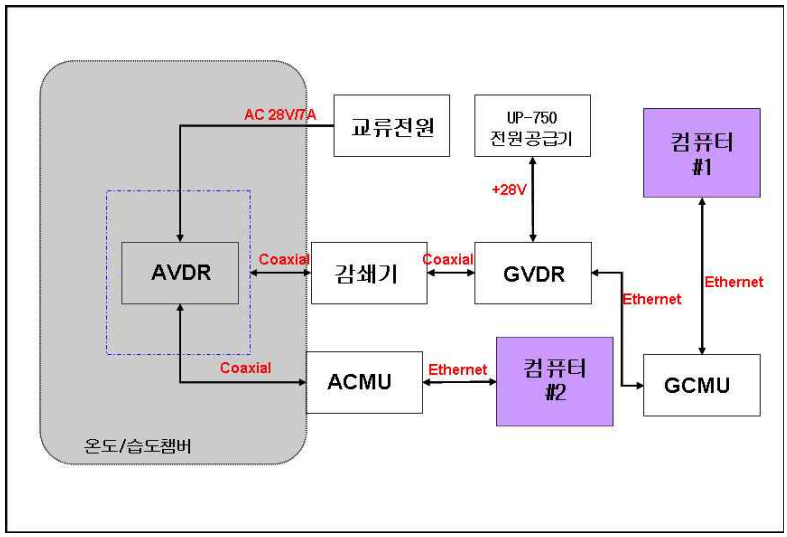
- 시험장비에 전원을 인가하여 GS 기능시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

(2) 탑재 고온, 습도시험

(가) 고온시험

① 장비설치/연결

○ 고온시험을 위한 장비설치 및 연결은 <그림 3-7-5-8>에 따른다.



<그림 3-7-5-8> 고온시험 장비설치 및 연결도

② 초기상태

○ 시험장비의 전원을 켜고 점검프로그램을 수행한다.

○ 전원공급기의 전원을 28V, 각 채널의 전류제한을 7A로 셋팅한다.

(나) 고온저장 시험

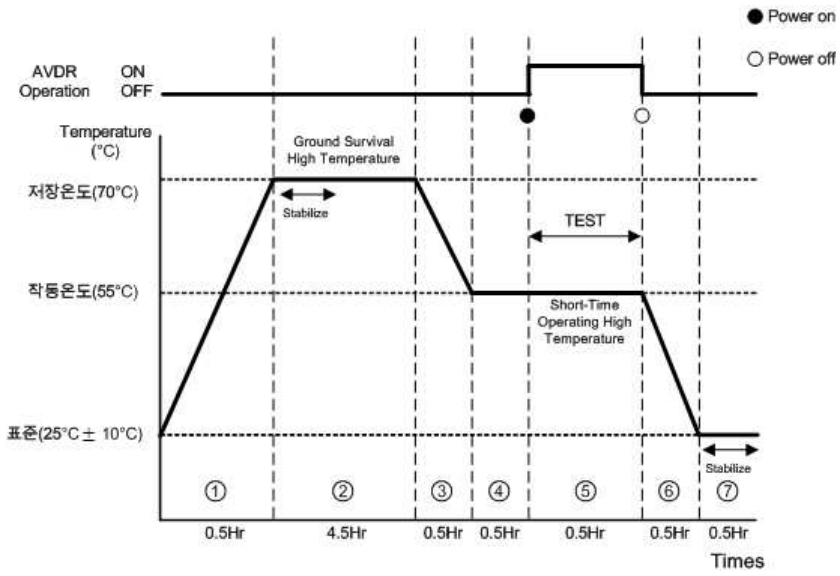
시험절차는 DO-160D Paragraph 4.5.3과 다음의 <그림 3-7-5-9>에 따른다.

① 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : AVDR 시험절차서의 검증항목을 시험한다.

- 챔버의 온도를 저장온도인 70℃ 까지 상승시킨다.(분당 3℃이내)
- 저장고온시간은 시험장비의 온도의 안정화 시간에 3시간을 더한 4.5시간을 준다.
- 챔버의 온도를 작동온도인 55℃ 까지 하강시킨다.(분당 3℃이내)
- 0.5시간을 대기한다..
- 본시험 시간으로 전원공급기의 전원을 켜고 0.5시간 동안 AVDR에 전원을 인가한 후 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.
- 본 시험 종료 후 AVDR의 전원을 끄고 챔버의 온도를 표준온도인 25℃까지 하강시킨다.(분당 3℃이내)
- 시험장비의 온도가 안정화되기 위해 안정화시간을 준다.



<그림 3-7-5-9> 고온저장 및 짧은 고온작동시험 온도그래프

② 시험 후 점검(POST-TEST)

○ 시험장비의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

○ 시험장비에 전원을 인가하여 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

(다) 고온작동 시험

시험절차는 DO-160D Paragraph 4.5.3과 다음의 <그림 3-7-5-10>에 따른다.

① 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : AVDR 시험절차서의 검증항목을 시험한다.

② 대상 시험장비에 이상이 없으면 챔버를 가동한다.

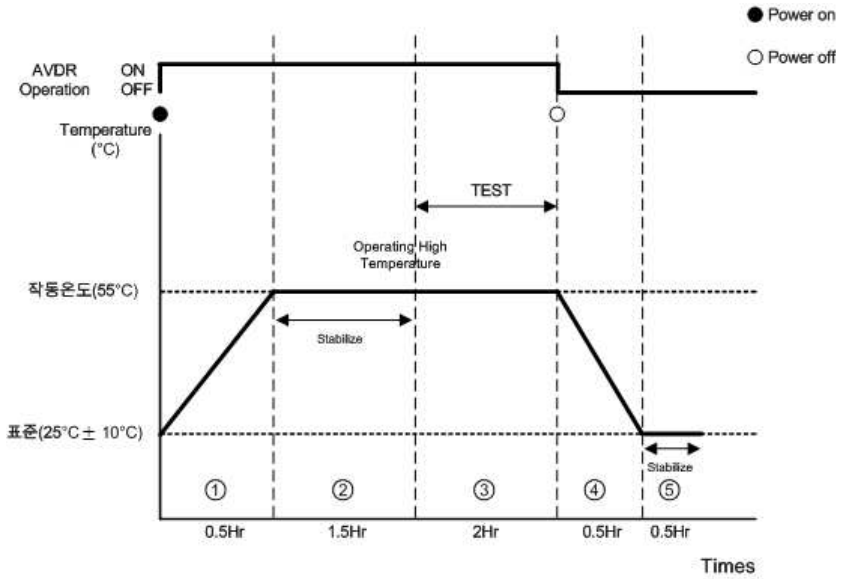
○ 전원공급기의 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한다. 그리고 챔버의 온도를 작동온도인 55℃ 까지 상승시킨다.(분당 3℃이내)

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 본시험 시간으로 온도가 안정화 된 후 0.5시간동안 시험장비 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.

○ 본 시험 종료 후 시험장비의 전원을 끄고 챔버의 온도를 표준온도인 25℃ 까지 하강시킨다.(분당 3℃이내)

○ 시험장비의 온도가 안정화되기 위해 안정화시간을 준다.



<그림 3-7-5-10> 고온작동시험 온도그래프

③ 시험 후 점검(POST-TEST)

○ 시험장비의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

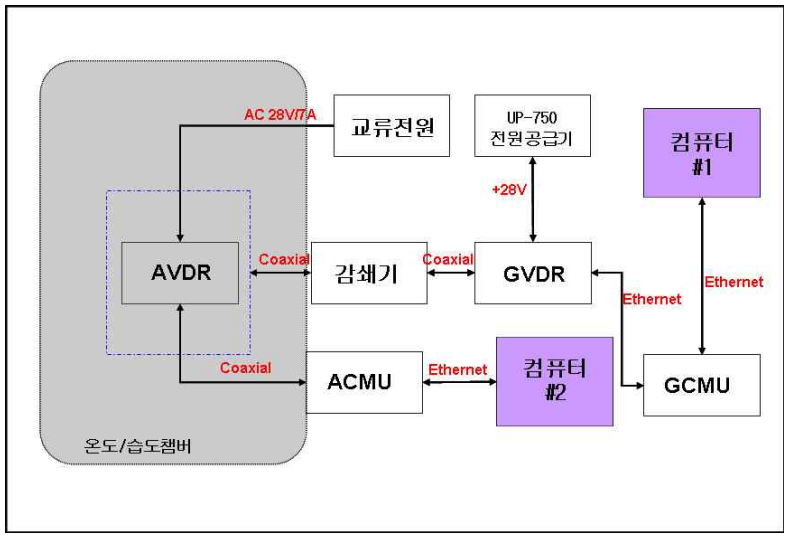
○ AVDR에 전원을 인가하여 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

(라) 저온시험

① 시험절차

○ 장비설치/연결

- 저온시험을 위한 장비설치 및 연결은 시험절차는 <그림 3-7-5-11>에 따른다.



<그림 3-7-5-11> 저온시험 장비설치 및 연결도

② 초기상태

- 시험장비의 전원을 켜고 점검프로그램을 수행한다.

- 전원공급기의 전원을 28V, 각 채널의 전류제한을 7A로 셋팅한다.

(마) 저온저장 및 저온작동 시험

시험절차는 DO-160D Paragraph 4.5.1과 다음의 <그림 3-7-5-12>에 따른다.

① 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : AVDR 시험절차서의 검증항목을 시험한다.

② 대상 시험장비에 이상이 없으면 전원공급기의 전원을 끄고 챔버를 가동한다.

○ 챔버의 온도를 저장온도인 -55℃ 까지 하강시킨다.(분당 3℃이내)

○ 저장저온시간은 시험장비의 온도의 안정화 시간에 3시간을 더한 4.5시간을 준다.

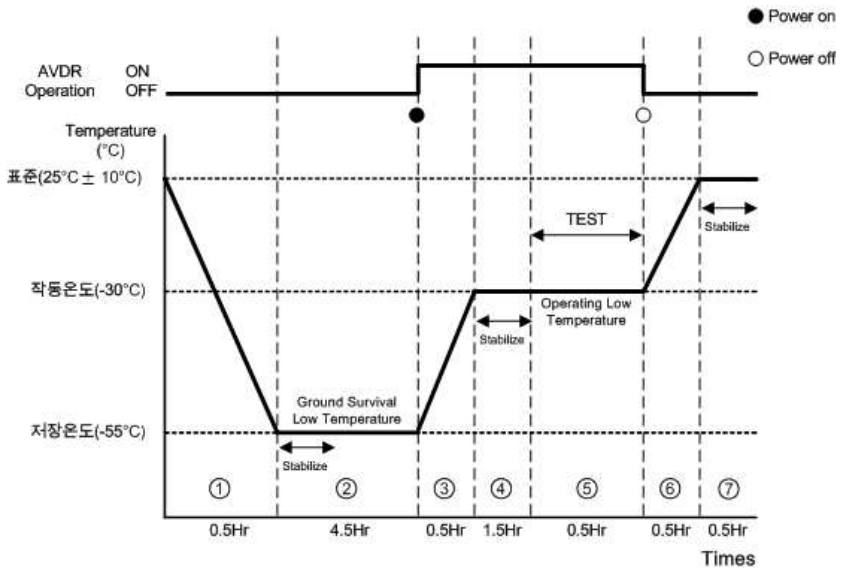
○ 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한 후 챔버의 온도를 작동온도인 -30℃ 까지 상승시킨다.(분당 3℃이내)

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 본시험 시간으로 0.5시간동안 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.

○ 본 시험 종료 후 시험장비의 전원을 끄고 챔버의 온도를 표준온도인 25℃ 까지 상승시킨다.(분당 3℃이내)

○ 시험장비의 온도가 안정화되기 위해 안정화시간을 준다.



<그림 3-7-5-12> 저온저장 및 저온작동시험 온도그래프

③ 시험 후 점검(POST-TEST)

○ 시험장비의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

○ 시험장비에 전원을 인가하여 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

(바) 온도변화시험

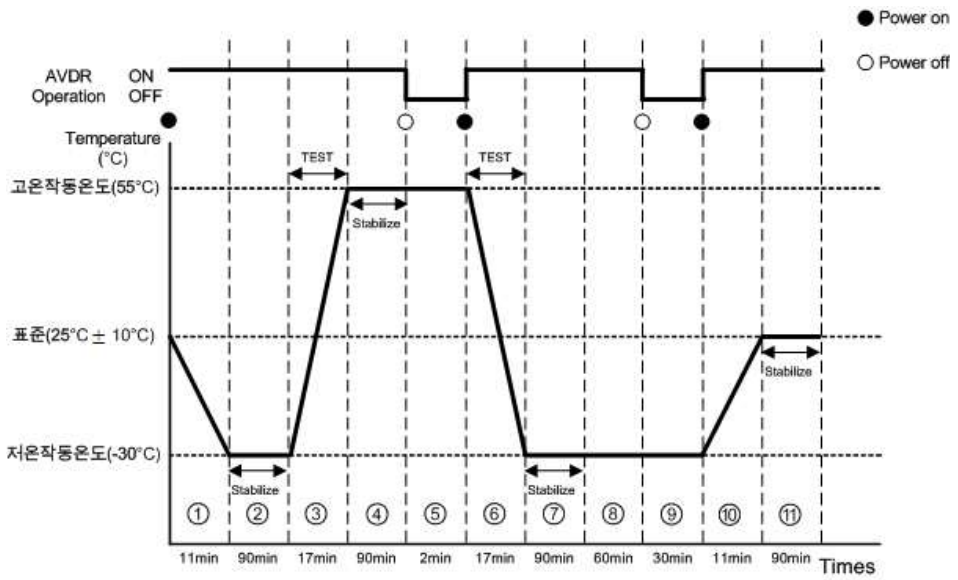
시험절차는 DO-160D Paragraph 5.3과 다음의 <그림 3-7-5-13>에 따른다.

① 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : AVDR 시험절차서의 검증항목을 시험한다.

② 대상 시험장비에 이상이 없으면 챔버를 가동한다.



<그림 3-7-5-13> 온도변화시험 그래프

○ 전원공급기의 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한다. 그리고 챔버의 온도를 저온작동온도인 -30°C 까지 하강시킨다.(분당 5°C)

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 본시험 시간으로 챔버의 온도를 고온작동온도인 55°C 까지 상승시킨다(분당 5°C). 온도가 상승하는 동안 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 시험장비의 전원을 끄고 2분을 대기한다.

○ 본시험 시간으로 시험장비에 전원을 인가한 후 챔버의 온도를 작동온도인 -30℃ 까지 하강시킨다(분당 5℃). 온도가 하강하는 동안 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 1시간을 대기한다.

○ 시험장비의 전원을 끄고 0.5시간을 대기한다.

○ 시험장비에 전원을 인가한 후 챔버의 온도를 표준온도인 25℃ 까지 상승시킨다(분당 5℃).

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

(사) 고도시험

시험절차는 DO-160D Paragraph 4.6.1과 다음의 <그림 3-7-5-14>에 따른다.

① 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : AVDR 시험절차서의 검증항목을 시험한다.

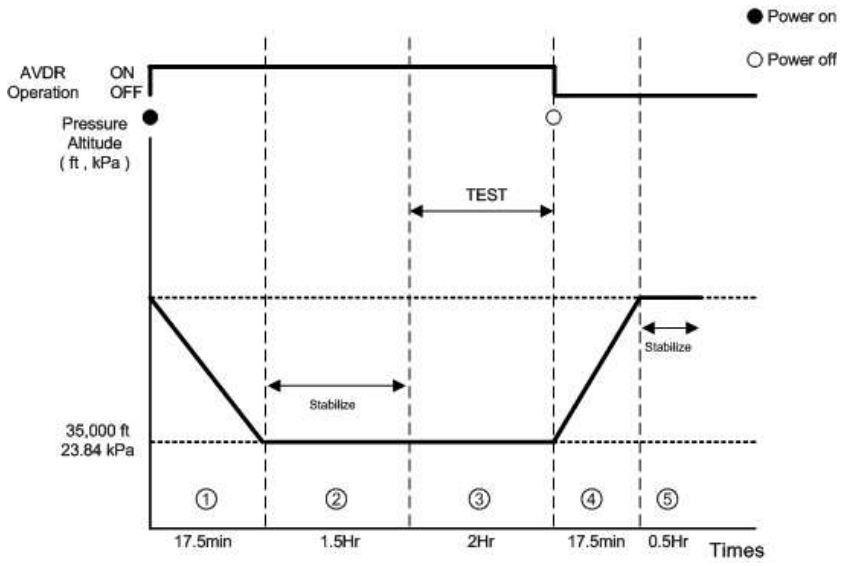
② 대상 시험장비에 이상이 없으면 챔버를 가동한다.

○ 전원공급기의 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한다. 고도 시험기의 압력을 규정된 시험 고도인 10.7Km로 조정한다. 이때 감압은 10m/s , 온도는 표준대기 조건, 습도 조건은 없다.

○ 시험장비의 온도가 안정화 되기 위해 1.5시간을 준다.

○ 본 시험 수행시간으로 2시간동안 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 확인한다.

○ 본 시험 종료 후 시험장비의 전원을 끄고 챔버의 압력을 표준 주위조건으로 조정한다. 이때 고도변화율은 10m/s 로 한다.



<그림 3-7-5-14> 고도시험 그래프

③ 시험 후 점검(POST-TEST)

○ 시험장비의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

○ 시험장비에 전원을 인가하여 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

(아) 습도 시험

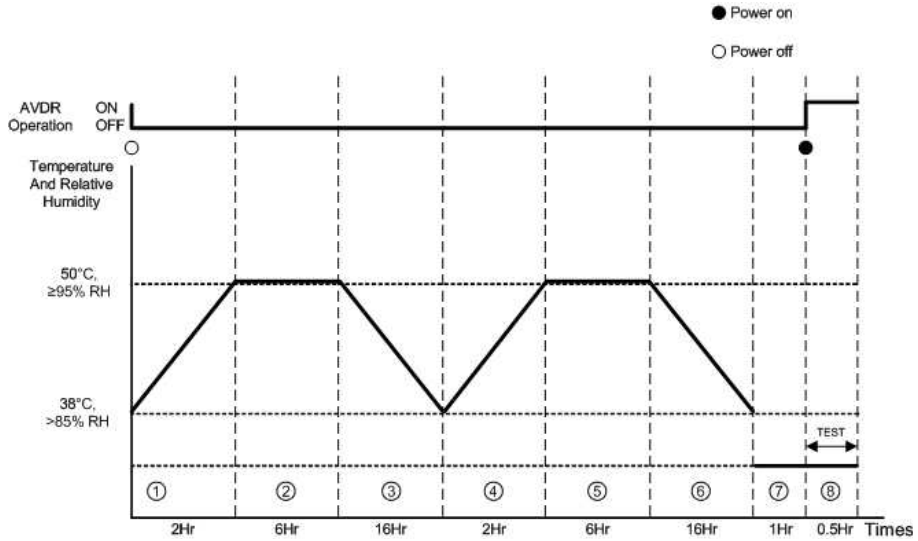
시험절차는 DO-160D Paragraph 6.3.1과 <그림 3-7-5-15>에 따른다.

① 시험 전 점검(PRE-TEST)

○ 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

○ 전기적 성능 시험 : AVDR 시험절차서의 검증항목을 시험한다.

② 대상 시험장비에 이상이 없으면 전원공급기의 전원을 끄고 챔버를 가동한다.



<그림 3-7-5-15> 습도시험 그래프

○ 두시간에 걸쳐 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 상승시킨다.

○ 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 6시간동안 유지한다.

○ 챔버의 온도를 38°C 까지 하강시키고 상대습도를 85%이상으로 16시간을 유지한다.

○ 다시 두시간에 걸쳐 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 상승시킨다.

○ 챔버의 온도를 50°C, 상대습도를 95%로 6시간동안 유지한다.

○ 챔버의 온도를 38°C 까지 하강시키고 상대습도를 85%이상으로 16시간을 유지한다.

○ 2주기의 환경 조건이 끝난 후 챔버의 문을 열어 환경조건을 제거한다. 1시간 내에 전원공급기의 전원을 켜고 시험장비에 전원을 인가한 후 15분을 유지한다.

○ AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 요구조건을 만족하는지 확인한다.

③ 시험 후 점검(POST-TEST)

○ 시험장비의 온도가 안정화된 후 챔버의 문을 열고 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

○ 시험장비에 전원을 인가하여 AVDR 시험절차서의 검증항목을 수행하여 정상동작 여부를 성적서에 기록한다.

나. 진동시험

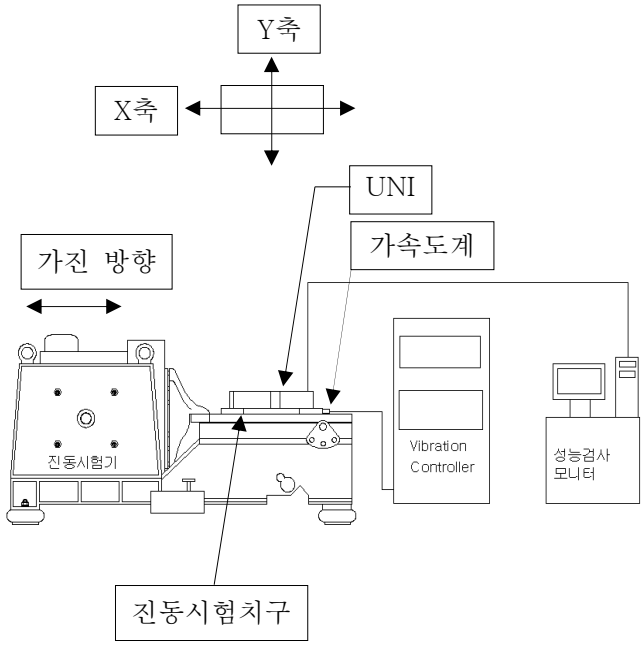
(1) 지상장비 진동시험

(가) 장비설치/연결

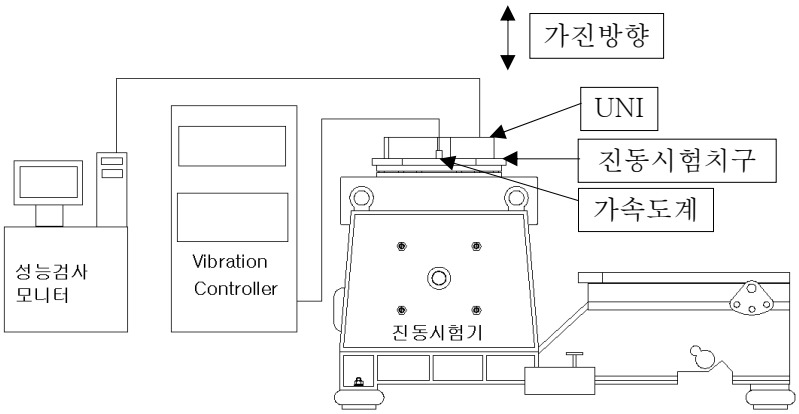
X축 및 Y축은 <그림 3-7-5-17>와 같이 그리고 Z축은 <그림 3-7-5-18>와 같이 UNIT를 진동시험기 위에 고정한 후 전원 및 시험케이블을 연결한다. (단, X축과 Y축은 시험물이 90도의 각도차이를 가지며 장착된다.)



<그림 3-7-5-16> GS 축정의



<그림 3-7-5-17> 진동시험 구성도 (X,Y축)



<그림 3-7-5-18> 진동시험 구성도 (Z축)

진동시험치구에 가속도 센서를 부착한다.

(나) 초기상태

GS와 GS전용시험장비사이의 신호 케이블이 모두 연결된 상태이어야 한다.

GS에 연결된 시험용 케이블이 진동 중 이탈되지 않도록 고정한다.

(다) 시험 전 점검

육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

전기적 성능 시험 : GS 기능시험항목의 시험을 실시한다.

(라) X축 진동시험

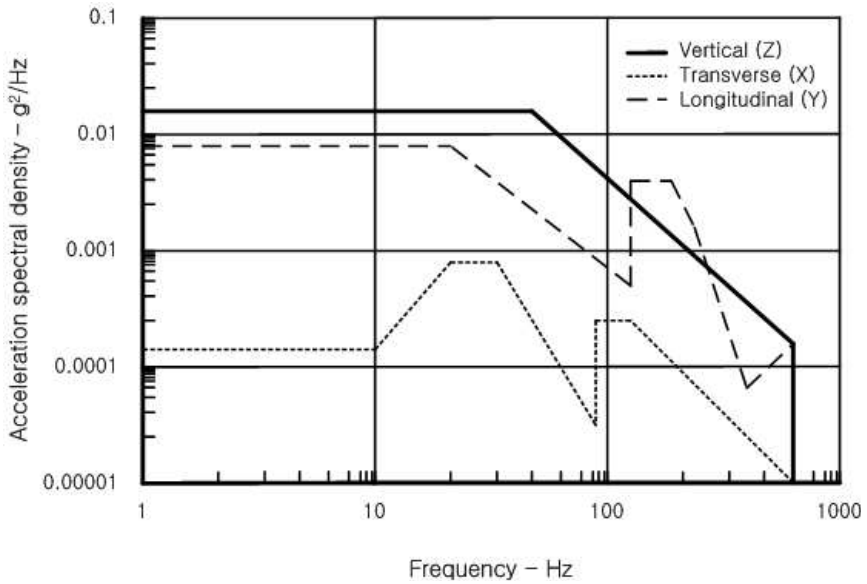
① 진동 시험기를 X축으로 셋팅 한다. GS와 전용시험장비 사이의 케이블을 모두 연결하지 않는다.

② 진동시험기 콘트롤러에 <그림 3-7-5-19>의 프로파일을 입력한다

③ 진동시험기를 동작시킨다.

④ 1시간 경과 후 모든 장비의 동작을 정지시키고 진동시험기 콘트롤러에서 프로파일 곡선을 출력하여 성적서에 첨부한다.

⑤ 시험 종료 후 GS와 전용시험장비 사이의 케이블을 모두 연결하고 간이 기능시험을 수행한다.



<그림 3-7-5-19> 시험 프로파일

⑥ 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서

에 기록한다.

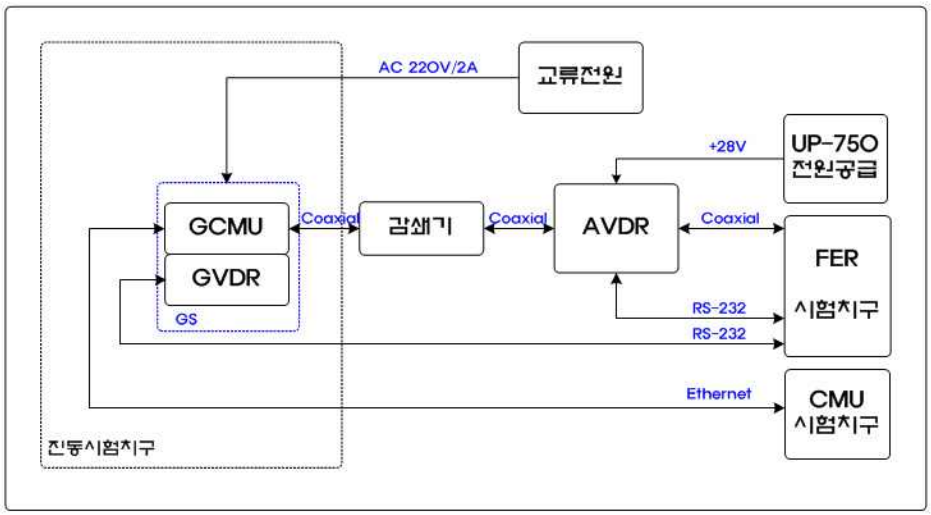
(마) Y축 진동시험

① Y축에 대해 X축 진동시험의 ①항에서 ⑥항을 수행한다.

(바) Z축 진동시험

① Z축에 대해 X축 진동시험의 ①항에서 ⑥항을 수행한다.

(사) 기능 시험 절차



<그림 3-7-5-20> 기능시험 구성도

○ 단계 1 : <그림 3-7-5-20>와 같이 장비를 연결하고 GVDR과 AVDR에 수신감도(-98dBm)이 입력되도록 감쇄기 값을 조정한다. 이때 케이블 손실도 고려해야한다.

○ 단계 2 : FER 시험치구를 사용하여 주파수를 128MHz로 설정한다.

○ 단계 3 : AVDR이 -98dBm@FER=0.16을 만족하는지 확인한다.

○ 단계 4 : GS 내부의 GVDR이 -98dBm@FER=0.16을 만족하는지 확인한다.

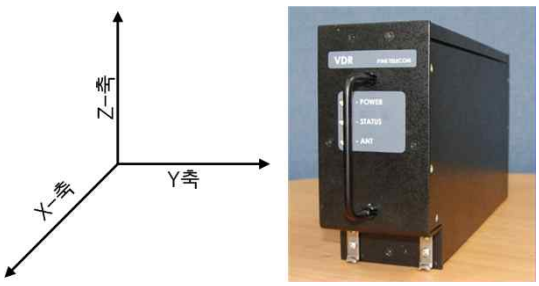
○ 단계 5 : GS에 전원을 인가한다.

○ 단계 6 : CMU 시험치구를 사용하여 정상적으로 시동을 하는지 확인하여 진동시험 성적서에 기록한다.

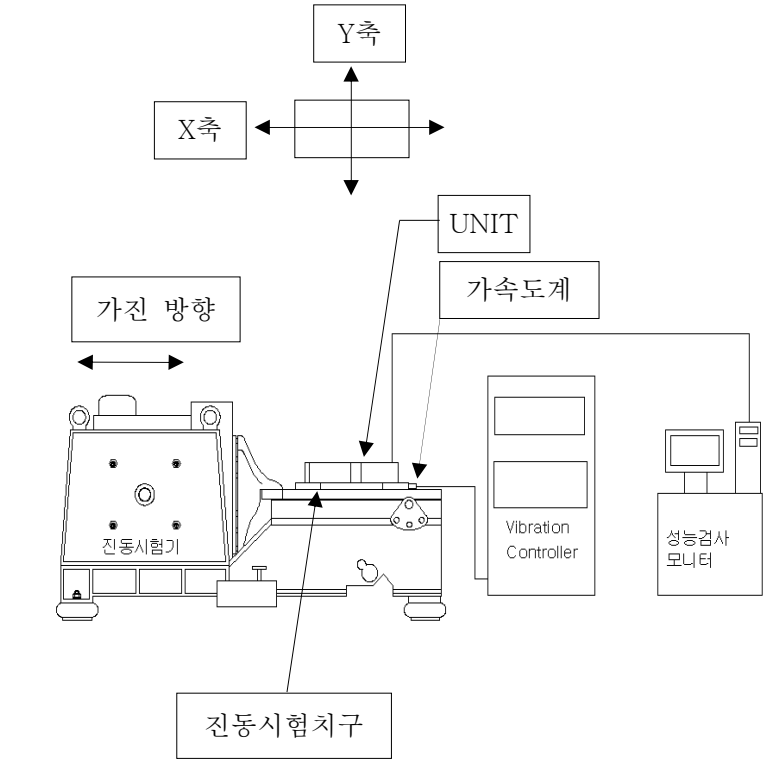
(2) 탑재장비 진동시험

(가) 장비설치/연결

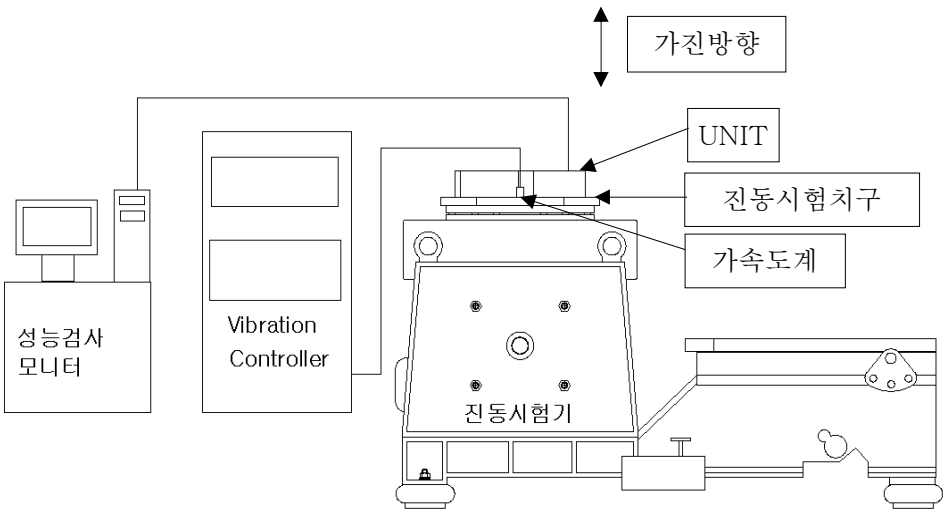
① X축 및 Y축은 <그림 3-7-5-22>와 같이 그리고 Z축은 <그림 3-7-5-23>와 같이 UNIT를 진동시험기 위에 고정한 후 전원 및 시험케이블을 연결한다. (단, X축과 Y축은 시험물이 90도의 각도차이를 가지며 장착된다.)



<그림 3-7-5-21> AVDR 축정의



<그림 3-7-5-22> AVDR진동시험 구성도 (X,Y축)



<그림 3-7-5-23> AVDR 진동시험 구성도 (Z축)

② 진동시험치구에 가속도 센서를 부착한다.

(나) 초기상태

① AVDR와 AVDR전용시험장비사이의 신호 케이블이 모두 연결된 상태이어야 한다.

② AVDR에 연결된 시험용 케이블이 진동 중 이탈되지 않도록 고정한다.

(다) 시험 전 점검

① 육안 및 기계적 검사 : 기구가공 부품의 파손 또는 변형여부를 검사한다.

② 전기적 성능 시험 : AVDR 기능시험항목의 시험을 실시한다.

(라) X축 진동시험

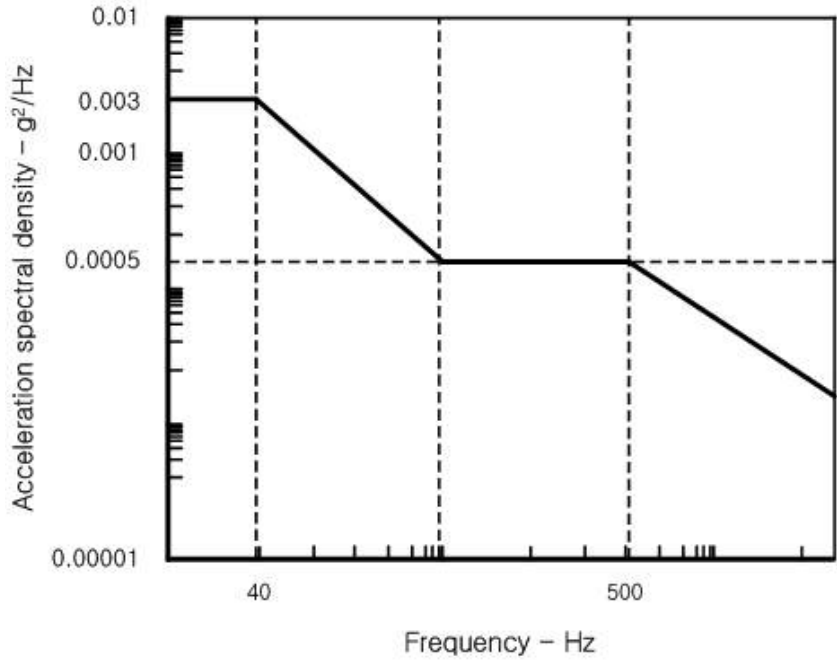
① 진동 시험기를 X축으로 셋팅 한다.

② 진동시험기 콘트롤러에 <그림 3-7-5-24> 제트기 규격 적용 프로파일을 입력한다

③ 진동시험기를 동작시킨다.

④ 0.5시간동안 시험 중 기능시험항목의 시험을 실시한다.

⑤ 진동시험기 콘트롤러에서 Random on Random Vibration 곡선을 출력하여 성적서 에 첨부한다.



<그림 3-7-5-24> 시험 프로파일

⑥ 진동시험 종료 후 육안 및 기계적 검사를 수행하여 구성품의 파손 및 변형 여부를 성적서에 기록한다.

(마) Y축 진동시험

① Y축에 대해 X축 진동시험의 ①항에서 ⑥항을 수행한다.

(바) Z축 진동시험

① Z축에 대해 X축 진동시험의 ①항에서 ⑥항을 수행한다.

다. 전자기 성능시험

(1) 지상장비 전자기 성능시험

지상장비는 상업제품인 KN(Korea Norm)의 전도성성, 방사성, 정전기, 버스트 내성, 전압변동 시험에 대한 규격서에 의거하여 시험을 수행하였고, 자세한 결과는 지상장비 전자기 성능시험 결과서를 참조한다.

(2) 탑재장비 전자기 성능시험

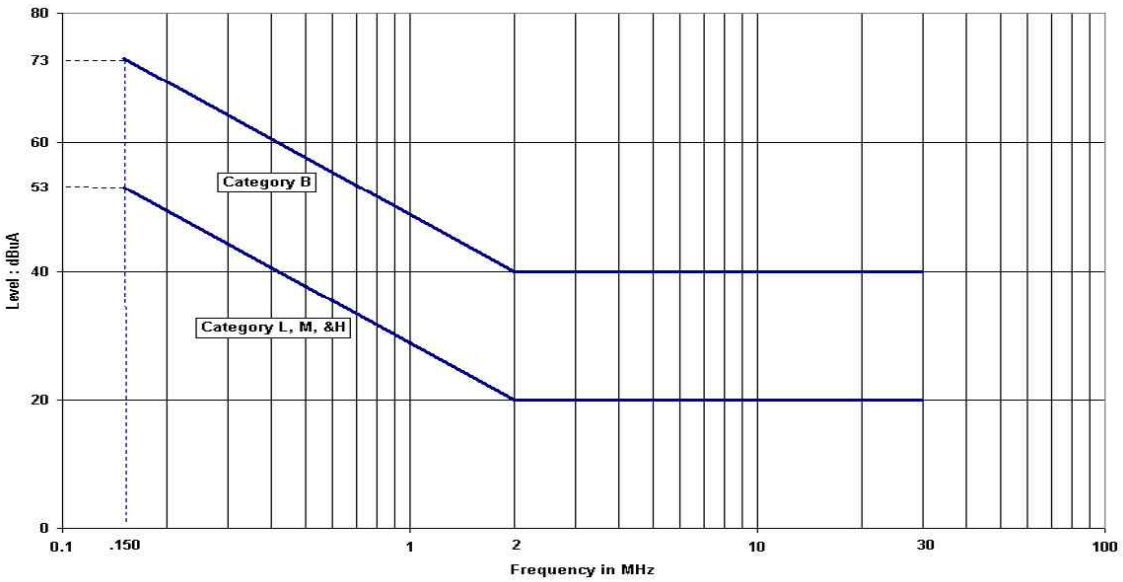
(가) CE(Conducted Emission) 시험절차

① 검증대상요건

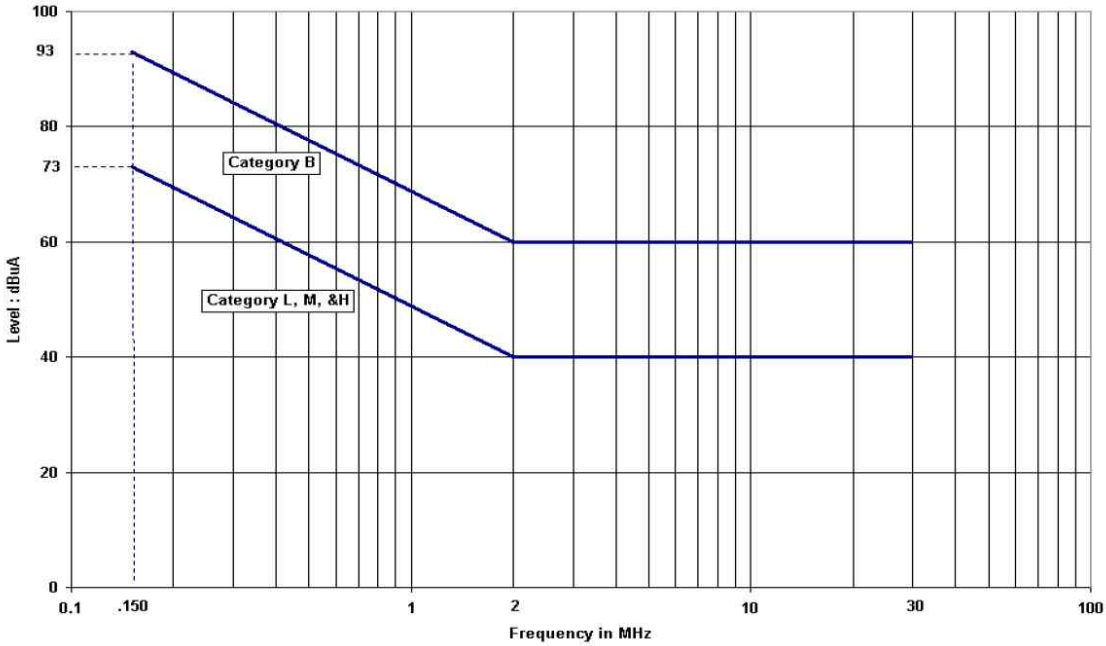
- ○ 시험범위 : AVDR 입력 전원선과 신호선에 대한 전도 방사 성분 측정을 위한 시험이다.
- ○ 시험주파수 범위 : 150kHz ~ 30MHz
- ○ 측정 : 전원선과 신호선의 Current Probe

② 검증방법 및 수준

<그림 3-7-5-25>과 <그림 3-7-5-26>의 Category B의 시험 한계치를 적용한다.



<그림 3-7-5-25> 전원선의 시험한계치



<그림 3-7-5-26> 신호선의 시험한계치

③ 시험장비 설치

○ 접속(Bonding)

AVDR는 기체 장착 시 체결부위를 통해 직접접속이 되고, EMI 시험시에도 접지판에 직접 접속한다.

○ 설치방향

AVDR의 설치방향은 커넥터부분이 LISN쪽으로 향하게 설치하여 케이블 연결을 용이하게 설치한다.

○ 케이블제작 및 배치

- 접속 케이블(Interconnecting Leads and Cables)

EMI시험용 케이블은 체계케이블과 동일하게 제작하되, 전체길이가 7m가 되도록 제작한다.

모든 접속 케이블은 접지판으로부터 위로 5cm 이격

- 입력 전원선

전원선의 2m(AVDR 입력 전원선 커넥터로부터 LISN 접속단자까지 거리 기

준)는 Setup 전면부에 평행하게 포선

Twisted 전원선은 LISN 접속단자에 연결되는 부분(약 20cm~30cm)을 제외하고 Twisted 처리

모든 전원선은 접지판 으로부터 위로 5cm 이격

○ 커넥터 목록

AVDR의 커넥터 사양 및 시험사용 여부는 <표 3-7-5-1>, <표 3-7-5-2>와 같다.

<표 3-7-5-1> AVDR 커넥터 목록

순번	커넥터 번호	기능	커넥터 사양	연결 여부	비고
1	ACN1	전원선	· M24308/4-1F · Mating : M24308/2-1F	O	
2	ACN2	신호선	· M24308/4-1F · Mating : M24308/2-1F	O	
3	ACN3	RF	· N-Type(F) · Mating : N-Type(M)	O	

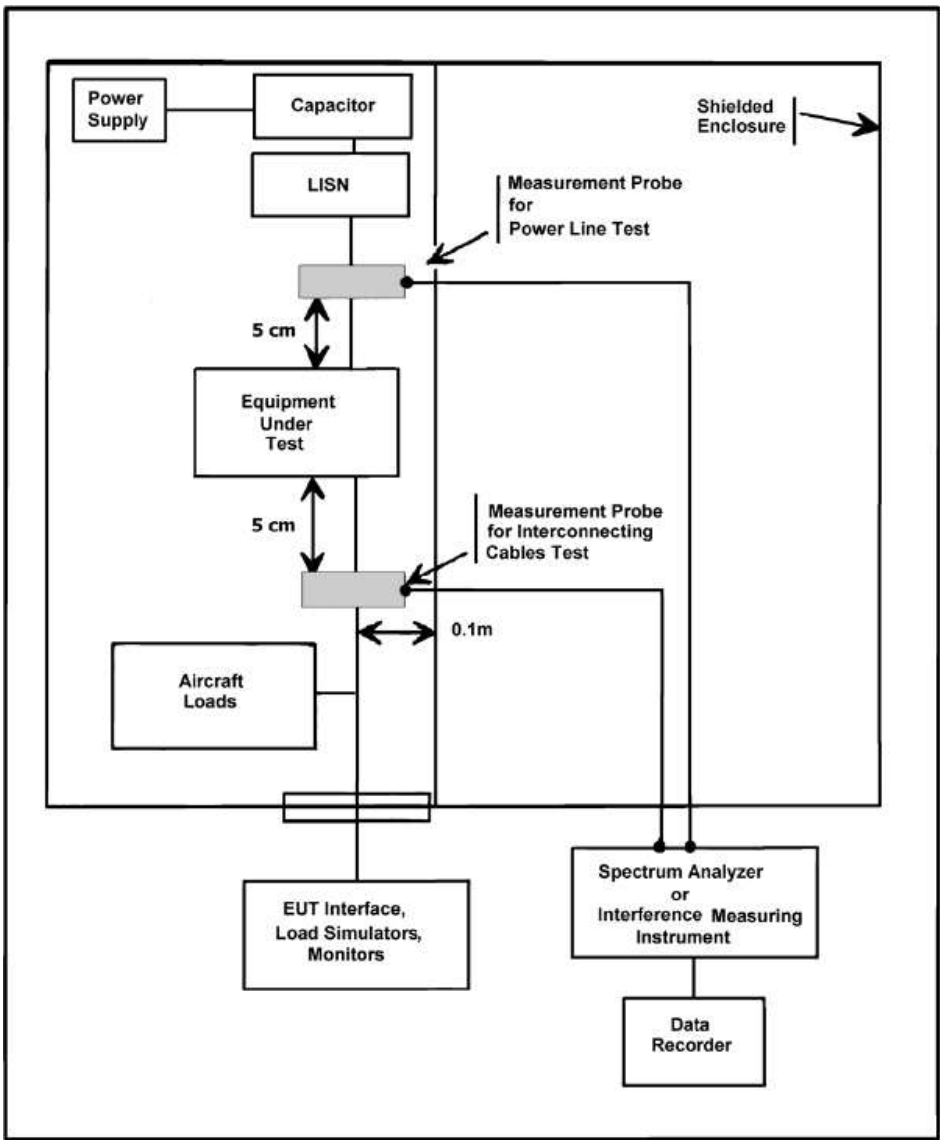
○ 시험용 케이블 목록

<표 3-7-5-2> 시험용 케이블 목록

순번	케이블 도번	기능	접속 장비		케이블 차폐 형태	길이	시험대상
			~부터	~까지			
1	ACB1	전원선	AVDR	LISN		2m	O
2	ACB2	신호선	AVDR	ACMU		7m	O
3	ACB3	RF	AVDR	GVDR		7m	O

○ 시험 구성도

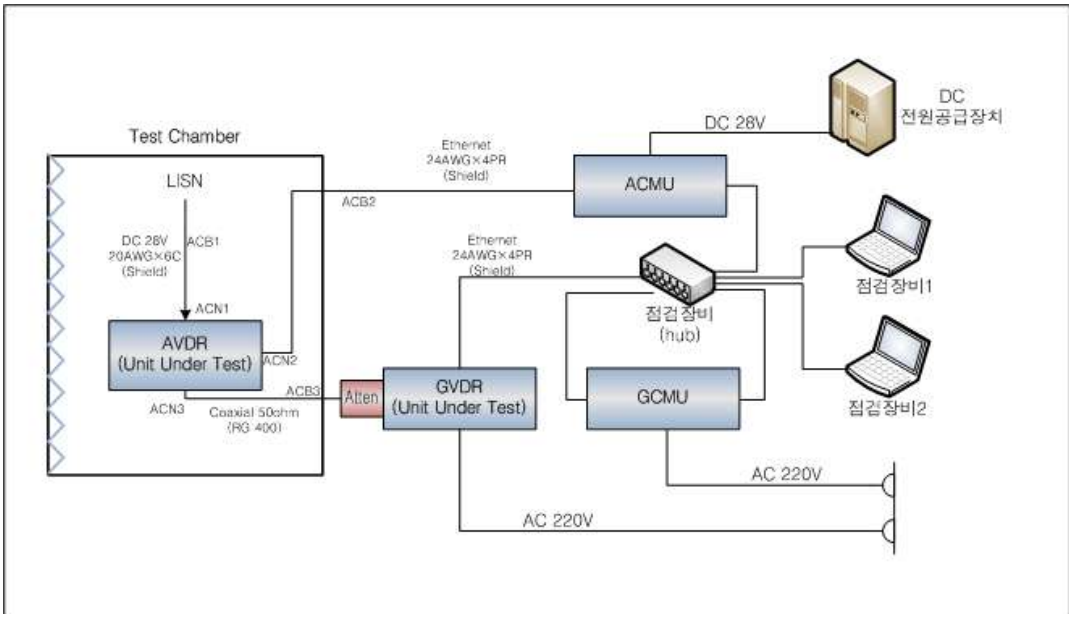
일반적인 CE시험 구성도(<그림 3-7-5-27>)와 가능한 한 동일한 조건으로 설치한다.



<그림 3-7-5-27> CE 시험구성도

○ 시험 인터페이스 구성도

AVDR, 전용시험장비 및 케이블은 아래 <그림 3-7-5-28>과 같이 설치한다.



<그림 3-7-5-28> 시험장비 연결도

④ 시험 절차

○ 그림 3과 같이 AVDR와 시험장비를 배치

○ AVDR를 ON하고 안정화 상태 유지

○ 시험장비를 ON하고 안정화 상태를 유지

○ 각 시험대상 도선에 대해 150㎑~30㎒까지 도선으로 전도되는 방사량을 주파수분석기(Spectrum Analyzer)로 측정하여 시험한계치와 비교

○

(나) CS(Conducted Susceptibility)의 검증

① 검증대상요건

○ 시험범위 : AVDR의 입력 전원선, 신호선에 각각 고주파 간섭 신호 인가 시 장비 내성을 검사

○ 시험대상 도선(Lead) : 전원선(HOT 선과 RTN 선을 포함), 신호선

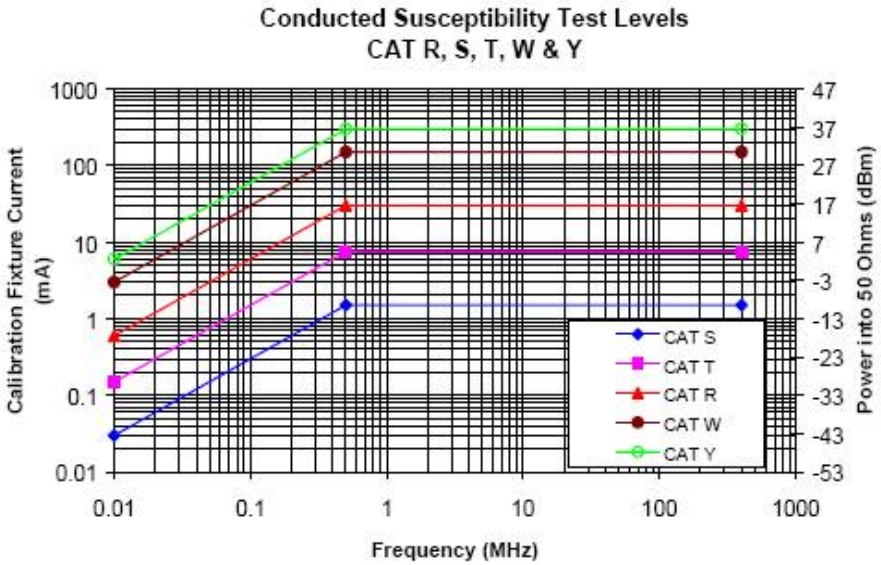
○ 시험주파수 범위 : 10kHz ~ 400MHz

② 검증방법 및 수준

AVDR의 간접신호 인가 레벨은<그림 3-7-5-29>, <그림 3-7-5-30>의 Category R의 규격을 적용한다.

Frequency	Category Levels (mA)															
(MHz)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	R	S	T	W	Y
0.01	0.2	0.08	0.5	0.2	2.5	1	4.5	1.5	0.6	2.5	1	0.6	0.03	0.15	3	6
0.1	1.6	0.64	3.5	1.4	25	10	19.2	6.4	2.56	25	10	6	0.3	1.5	30	60
0.1	1.6	0.64	3.5	1.4	25	10	25.6	6.4	2.56	25	10	6	0.3	1.5	30	60
0.5	7	2.6	13.5	5.4	125	50	66	16.5	6.6	125	50	30	1.5	7.5	150	300
0.5	7	3.9	13.5	8.1	125	75	66	16.5	9.9	125	75	30	1.5	7.5	150	300
1.5	20	12	35	21	125	75	136	32	20	125	75	30	1.5	7.5	150	300
2	25	15	35	21	125	75	164	41	24.6	125	75	30	1.5	7.5	150	300
2	50	50	70	70	250	250	164	82	82	250	250	30	1.5	7.5	150	300
3	70	70	70	70	250	250	214	105	105	250	250	30	1.5	7.5	150	300
5	70	70	70	70	250	250	300	150	150	250	250	30	1.5	7.5	150	300
6	70	70	70	70	205	205	300	150	150	205	205	30	1.5	7.5	150	300
15	70	70	50	50	86	86	300	150	150	150	150	30	1.5	7.5	150	300
30	59	59	39	39	48	48	300	150	150	150	150	30	1.5	7.5	150	300
30	29.5	5.9	19.5	3.9	24	4.8	300	75	15	75	15	30	1.5	7.5	150	300
70	23.25	4.65	14	2.8	13	2.6	216	54	10.8	54	10.8	30	1.5	7.5	150	300
100	20.5	4.1	12	2.4	11.5	2.3	180	45	9	45	9	30	1.5	7.5	150	300
100	41	4.1	24	2.4	23	2.3	180	90	9	90	9	30	1.5	7.5	150	300
200	34	3.4	19.5	1.95	18.5	1.85	132	66	6.6	66	6.6	30	1.5	7.5	150	300
200	34	3.4	19.5	1.95	18.5	1.85	132	66	6.6	66	6.6	30	1.5	7.5	150	300
400	30	3	15	1.5	15	1.5	100	50	5	50	5	30	1.5	7.5	150	300

<그림 3-7-5-29> CS 시험의 간섭 신호 레벨



<그림 3-7-5-30> CS 시험의 간섭 신호 레벨(그래프)

③ 시험장비 설치

○ 접속(Bonding)

AVDR은 기체 장착 시 체결부위를 통해 직접접속이 되고, EMC 시험시에도 접지판에 직접 접속한다.

○ 설치방향

AVDR의 설치방향은 커넥터부분이 LISN쪽으로 향하게 설치하여 케이블 연결을 용이하게 설치한다.

○ 케이블제작 및 배치

- 접속 케이블(Interconnecting Leads and Cables)
- EMI시험용 케이블은 체계케이블과 동일하게 제작하되, 전체길이가 7m가 되도록 제작한다.
- 모든 접속 케이블은 접지판으로부터 위로 5cm 이격
- 입력 전원선
- 전원선의 2m(AVDR의 입력 전원선 커넥터로부터 LISN 접속단자까지 거리 기준)는 Setup 전면부에 평행하게 포선
- Twisted 전원선은 LISN 접속단자에 연결되는 부분(약 20cm~30cm)을 제외하고 Twisted 처리
- 모든 전원선은 접지판 으로부터 위로 5cm 이격

○ 커넥터 목록

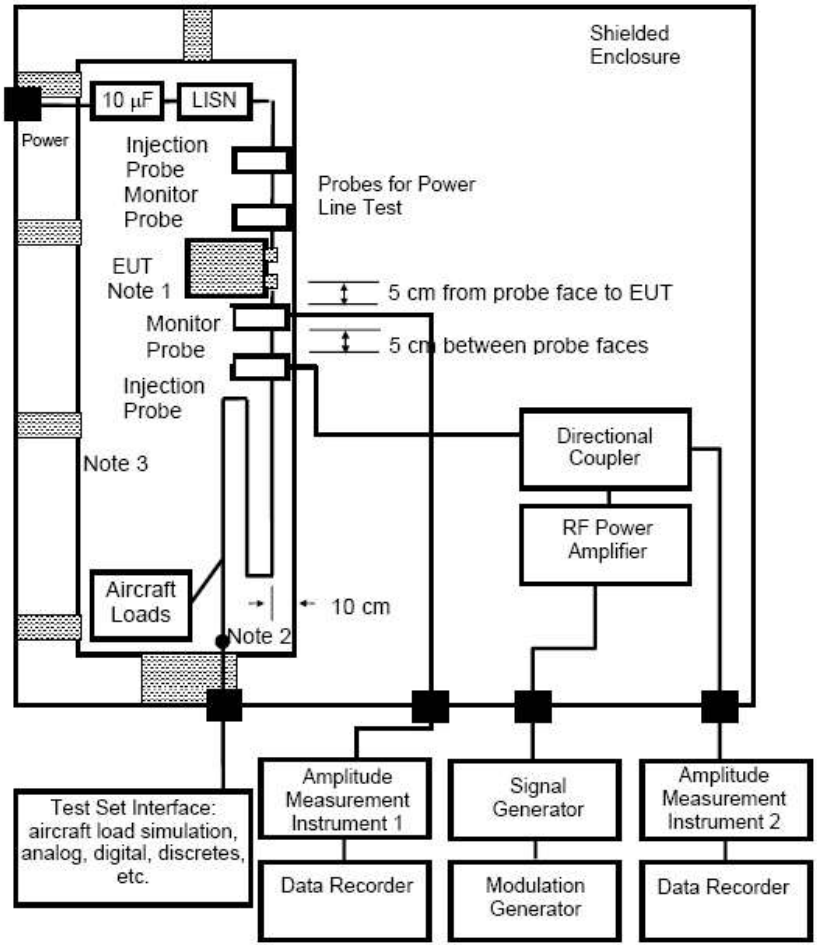
AVDR의 커넥터 사양 및 시험사용 여부는 표4와 같다.

○ 시험용 케이블 목록

시험용 케이블 목록은 표5와 같다.

○ 시험 구성도

일반적인 시험 구성도(<그림 3-7-5-31>)와 가능한 한 동일한 조건으로 설치한다.



<그림 3-7-5-31> 일반적인 CS 시험구성도

○ 시험 인터페이스 구성도

AVDR와 AVDR전용시험장비 및 케이블은 그림 4와 같이 설치한다.

④ 시험 절차

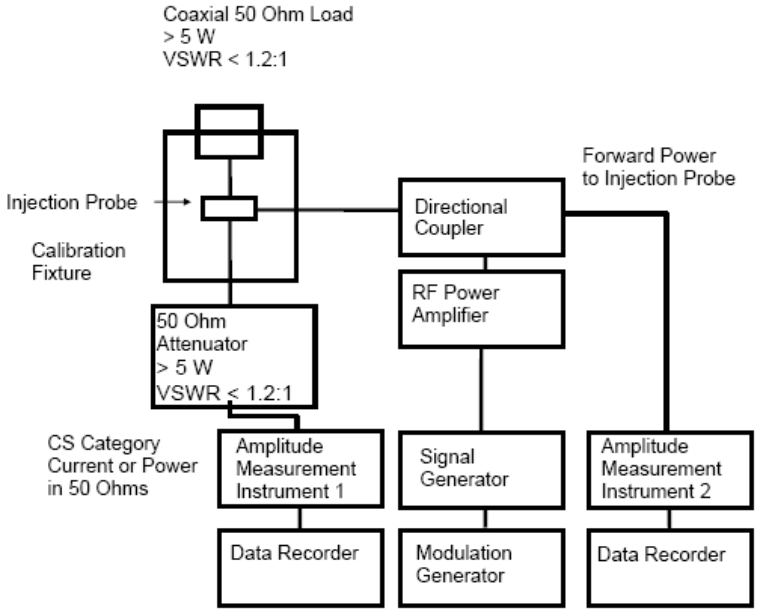
○ 교정

▪ <그림 3-7-5-32>과 같이 시험장비를 배치한다.

- 시험장비를 ON하고 안정화 상태를 유지
- 신호발생기(Signal Generator)의 출력을 10㎑ 무변조로 설정

○ 출력은 최소로 유지

- <그림 3-7-5-32>의 시험한계치가 주파수분석기에 관측되도록 신호발생기의 출력을 증가
- 신호발생기의 출력과 주파수분석기에 측정된 값을 시험성적서에 기록
- 신호발생기의 출력을 최소로 조정
- 다음 시험주파수에서 400㎒까지 다)~바)를 반복 수행



<그림 3-7-5-32> CS 시험장비 교정

○ 시험

▪ AVDR와 시험장비를 배치

○ 전류프로브는 피시험 케이블의 커넥터로부터 5cm 이격시켜 설치

- 커넥터와 백쉘(Backshell)의 전체 길이가 5cm를 초과하는 경우, 전류프로브를 커넥터 백쉘에 가깝게 설치

○ 전류인가프로브는 전류프로브로부터 5cm 이격시켜 설치

▪ AVDR를 ON하고 안정화 상태를 유지

▪ 시험장비를 ON하고 안정화 상태를 유지

▪ 함수발생기(Function Generator)를 이용하여 신호발생기(Signal Generator)를 아래와 같이 설정

* Continuous Wave(CW)

* Square Wave Modulation(SW)

○ 변조주파수 : 1㎑

○ Duty Factor : 50%

○ 출력은 최소로 유지

▪ 신호발생기를 교정단계 마)에서 설정된 값으로 조정하여 전류인가프로브에 인가

▪ AVDR의 성능 확인

○ 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정

▪ AVDR에 유기된 전류를 오실로스코프로 측정하여 시험성적서에 기록

▪ 신호발생기의 출력을 최소로 조정

▪ 다음 시험주파수에서 400㎒까지 라)~아)를 반복 수행(CW, SW변조 방식 모두수행)

▪ 모든 시험대상 도선에 대해 가)~자)를 반복 수행

▪ CS 최종 시험결과는 시험성적서에 기록

(다) RE(Radiated Emission)의 검증

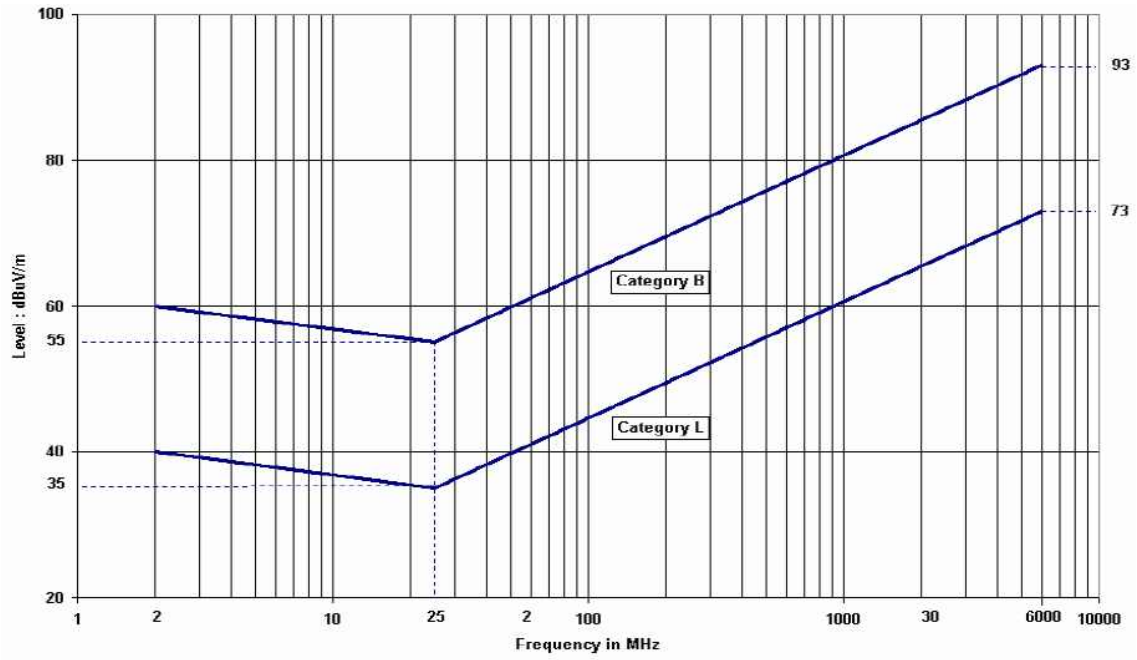
① 검증대상요건

○ 시험범위 : AVDR 및 모든 상호연결 케이블 에서 방사되는 전계세기 측정

○ 시험주파수 범위 : 2MHz ~ 6GHz 이다.

② 검증방법 및 수준

아래 에서 RE시험의 임계치를 초과하지 않아야 한다.



<그림 3-7-5-33> RE시험의 임계치

③ 시험 절차

그림 10과와 같이 AVDR와 시험장비를 배치한다.

수신안테나의 시험거리와 설치위치 결정(<그림 3-7-5-34> 참조)

○ 시험범위(Test Setup Boundary) 결정

○ 시험거리 및 수신안테나의 높이를 조정

- 시험거리 : 1m

- 수신안테나 높이(시험실 바닥 기준)

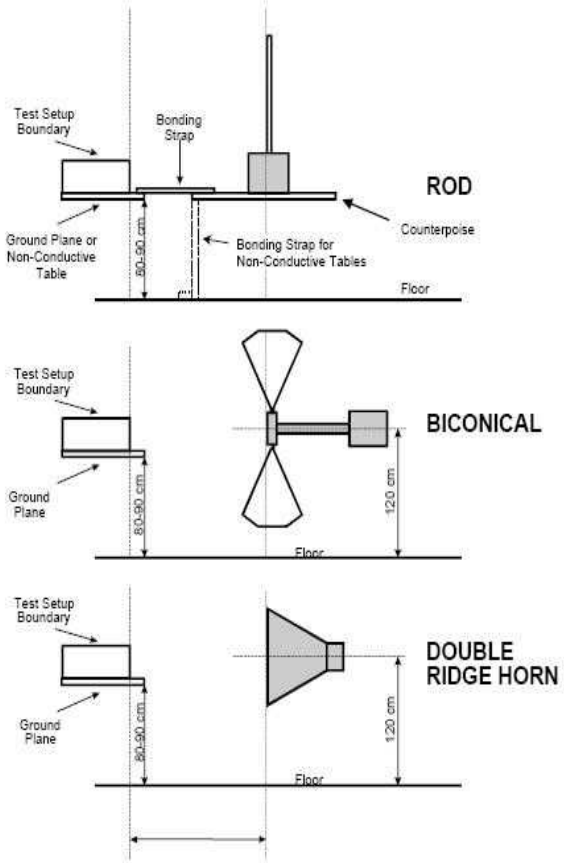
· 41″ Rod Antenna : 80cm~90cm

· Biconical Antenna : 120cm

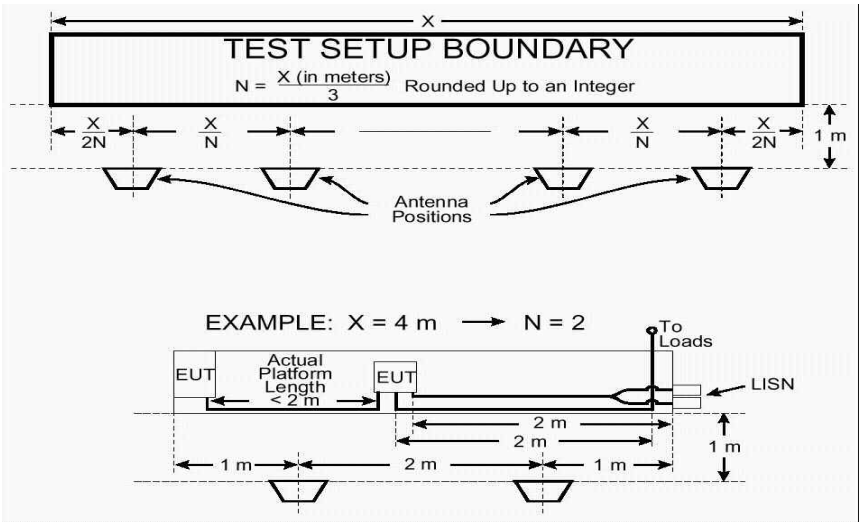
· LP Antenna : 120cm

· Horn : 120cm

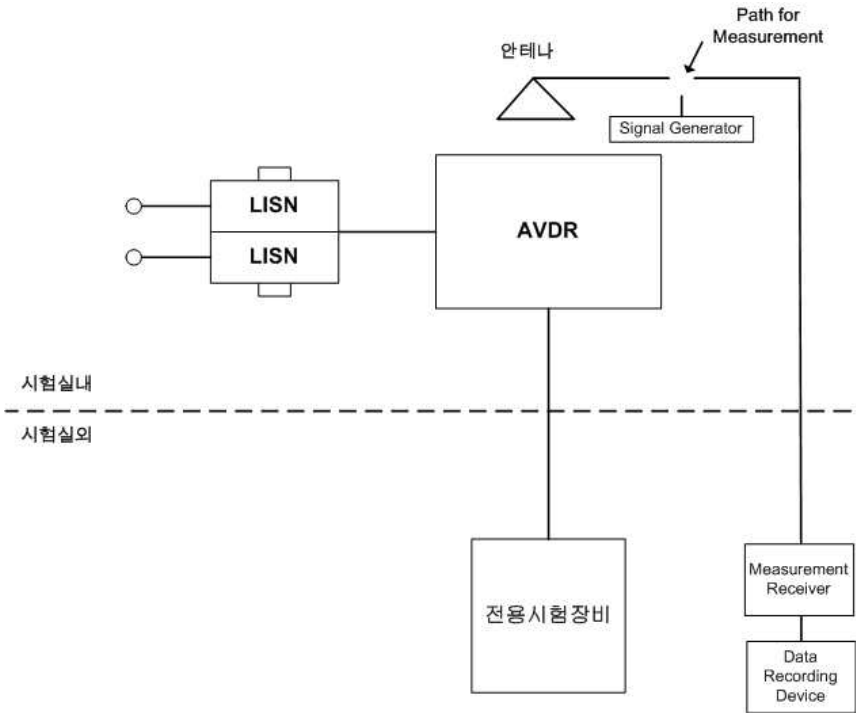
- 수신안테나는 벽면으로부터 1m 및 천장으로부터 0.5m 이상 이격



<그림 3-7-5-34> 안테나 위치결정



<그림 3-7-5-35> 복수 안테나 위치



<그림 3-7-5-36> RE 시험장비 설치도

○ 수신안테나의 설치위치 결정

- 주파수 범위 : 200㎒ 이하

· 시험범위가 3m 이내 : 중앙에 설치

· 시험범위가 3m 이상 : 그림 25와 같이 분할

- 주파수 범위 : 200㎒~1㎓

· AVDR와 케이블의 처음 35cm가 수신안테나의 3dB 빔폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정(최소 3㏈ 빔폭)

- 주파수 범위 : 1㎓ 이상

· AVDR와 케이블의 처음 7㎝가 수신안테나의 3dB 빔폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정(최소 3㏈ 빔폭)

하나, 시험장비를 ON하고 안정화 상태를 유지

둘, AVDR를 ON하고 안정화 상태를 유지

○ AVDR를 방사시험 운용모드로 설정

셋, 주파수분석기(Spectrum Analyzer)로 AVDR와 접속 케이블에서 복사되는 방사량을 측정하여 시험한계치와 비교

○ 30㎒ 이상에서는 수직 및 수평 편파(Polarization)를 측정

(라) RS(Radiated Susceptibility)의 검증

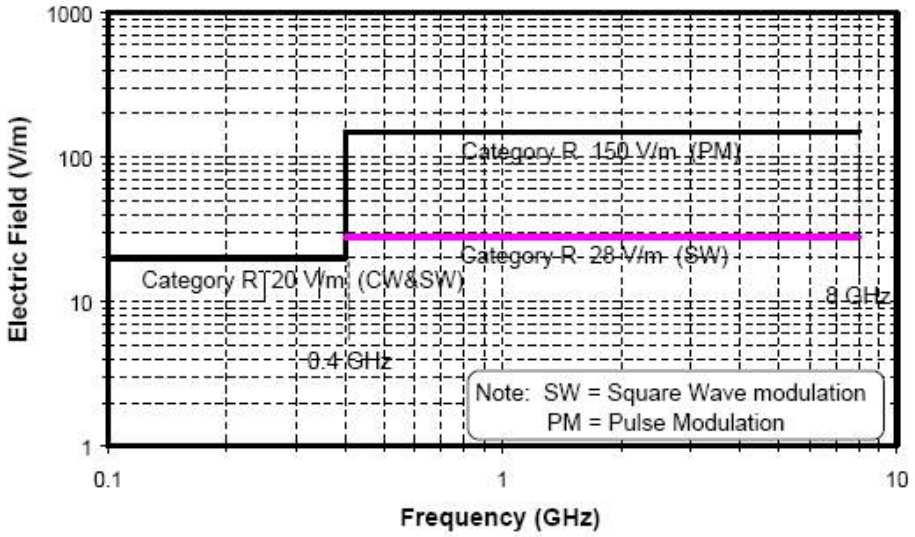
① 검증대상요건

○ 시험범위 : 공간으로 복사된 전기장에 대한 AVDR와 관련 케이블의 내성을 검증하기 위해 사용

○ 시험주파수 범위 : 100MHz~8GHz

② 검증방법 및 수준

다음 <그림 3-7-5-37>에서 AF(Air Force), Aircraft Internal을 적용한다.



<그림 3-7-5-37> RS 시험 한계치

③ 시험 절차

송신안테나의 시험거리 및 설치위치 결정

○ 시험범위 결정

○ 시험거리 : 1m

○ 송신안테나의 설치위치 결정

- 주파수 범위 : 200㎒ 이하

· 시험범위가 3m 이내 : 중앙에 설치

· 시험범위가 3m 이상 : 분할

- 주파수 범위 : 200㎒～1㎓

· EUT와 케이블의 처음 35㎝가 수신안테나의 3dB 비임 폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정(최소 3dB 비임 폭은 관련표 참조)

- 주파수 범위 : 1㎓ 이상

· EUT와 케이블의 처음 7㎝가 수신안테나의 3dB 비임 폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정(최소 3dB 비임 폭은 관련표 참조)

시험장비를 ON하고 안정화 상태를 유지

○ 출력은 최소로 유지

AVDR를 ON하고 안정화 상태를 유지

신호발생기(Signal Generator)를 펄스 아래와 같이 설정

▪ 100㎒ ~ 400㎒

○ Continuous Wave(CW)

- 400㎒ ~ 8㎓

○ 변조 주파수 : 1㎑ Pulse Modulation(PM)

○ Duty Factor : 50%

- 400㎒ ~ 8㎓

○ 변조 주파수 : 1㎑ Square Wave Modulation(SW)

○ Duty Factor : 50%

- 그림14 의 시험한계치가 전계측정센서에 관측되도록 신호발생기의 출력을 증가

○ 30㎒ 이상에서는 수직 및 수평 편파를 시험

- AVDR의 성능 확인

○ 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정

- 전계측정센서에 관측된 전계의 세기를 시험성적서에 기록
- 시험발생기의 출력을 최소로 조정
- 다음 시험주파수에서 8㎓까지 5 ~ 9를 반복 수행, 400㎒ ~ 8㎓에서는 PM과 SW 변조방식을 모두 수행
- RS 최종 시험결과는 시험성적서에 기록

라. 환경시험및전자기성능시험요약

(1) 환경시험요약

환경시험은 탑재송수신기 및 지상국의 기능성능시험을 수행한 후에 연구계획서, 개발규격 및 국제 표준/규격에 규정된 환경시험 요구사항을 만족하는지 여부를 입증하기 위하여 수행되었다. 지상장비의 경우, 온도 습도시험 규격은 ETSI문서를 참조하고 DO-160D의 시험절차에 따라 시험을 수행하였으며, 진동시험 규격은 MIL-STD-810F, Method 514.5, Procedure I을 참조하여 시험을 수행하였다. 탑재장비의 경우, TSO-C160에서 정의된 DO-160D의 최소요구 환경규격을 적용하여 시험을 수행하였다. 시험결과는 <표 3-7-5-3>과 <표 3-7-5-4>에 종합 정리하였으며, 여기서 보면 제시된 요구조건을 만족하고 있을 알 수 있다.

<표 3-7-5-3>환경시험 결과 요약 (지상장비)

시험항목	규격		시험결과
	내용	문서	만족/불만족
고온저장	저장 및 이동온도 : 70℃ 지상용 GS 온도,습도 시험절차서 4.1 참조	DO-160D	규격만족
고온작동	작동온도 : 55℃ 지상용 GS 온도,습도 시험절차서 4.1 참조	DO-160D	규격만족
저온저장 및 작동	저장 및 이동온도 : -55℃ 작동온도 : -20℃ 지상용 GS 온도,습도 시험절차서 4.2 참조	DO-160D	규격만족
습도	습도환경 : 최대 95% 지상용 GS 온도,습도 시험절차서 4.3 참조	DO-160D	규격만족
진동	진동시험절차서 4.1.6.4 참조	MIL-STD-810F	규격만족

<표 3-7-5-4> 환경시험 결과 요약 (탑재장비)

시험항목	규격		시험결과
	내용	문서	만족/불만족
고온저장	저장온도 : 70℃ 탑재용 AVDR 온도, 습도 시험절차서 4.1 참조	DO-160D	규격만족
고온작동	작동온도 : 55℃ 탑재용 AVDR 온도, 습도 시험절차서 4.1 참조	DO-160D	규격만족
저온저장 및 작동	저장온도 : -55℃ 탑재용 AVDR 온도, 습도 시험절차서 4.2 참조	DO-160D	규격만족
고도	압력고도 : 10.7km 탑재용 AVDR 온도, 습도 시험절차서 4.4 참조	DO-160D	규격만족
온도변화	분당: 5℃ 탑재용 AVDR 온도, 습도 시험절차서 4.3 참조	DO-160D	규격만족
습도	습도환경 : 최대 95% 탑재용 AVDR 온도, 습도 시험절차서 4.5 참조	DO-160D	규격만족
진동	탑재용 AVDR 진동 시험 절차서 4.1.6 참조	DO-160D	규격만족

(2) 전자기성능시험 요약

환경시험은 송수신기의 기능성능시험을 수행한 후에 연구계획서, 개발규격 및 국제 표준/규격에 규정된 환경시험 요구사항을 만족하는지 여부를 입증하기 위하여 수행되었다. 지상장비는 KN(Korea Norm) 규격서와 탑재장비는 DO-160D 규격서의 시험절차를 준수하며 시험을 수행하였다. 시험결과는 <표 3-7-5-5>과 <표 3-7-5-6>에 종합 정리하였으며, 여기서 보면 제시된 요구조건을 만족하고 있을 알 수 있다.

<표 3-7-5-5> 환경시험 결과 요약 (지상장비)

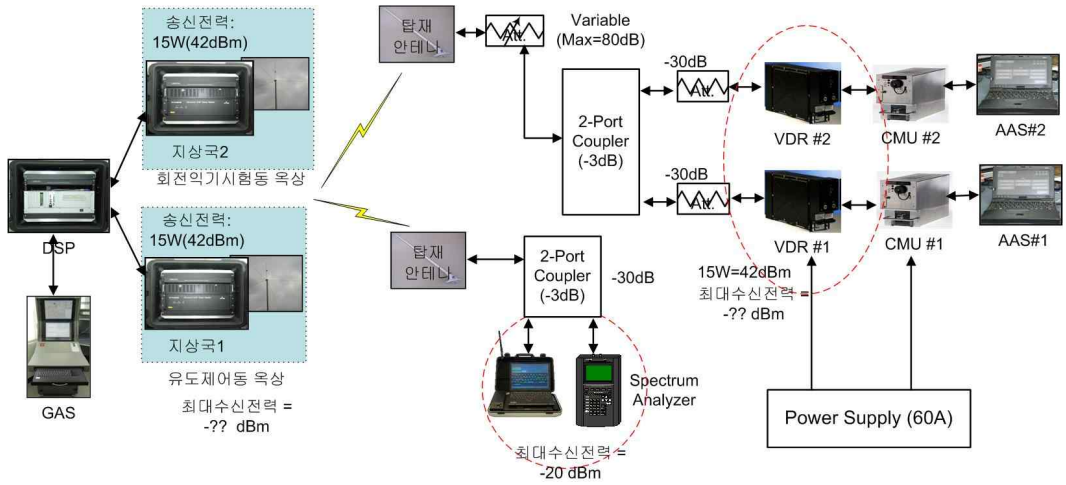
시험항목	규격		시험결과
	내용	문서	만족/불만족
전자파전도성시험	KN 22	KN 301 489-01	규격만족
전자파방사성시험	KN 22	KN 301 489-01	규격만족
정전기방전내성시험	KN 61000-4-2	KN 301 489-01	규격만족
방사성RF전자기장내성시험	KN 61000-4-3	KN 301 489-01	규격만족
EFT/버스트내성시험	KN 61000-4-4	KN 301 489-01	규격만족
전도성RF전자기장내성시험	KN 61000-4-6	KN 301 489-01	규격만족
전압강하 및 순간정전내성시험	KN 61000-4-11	KN 301 489-01	규격만족

<표 3-7-5-6>환경시험 결과 요약 (탑재장비)

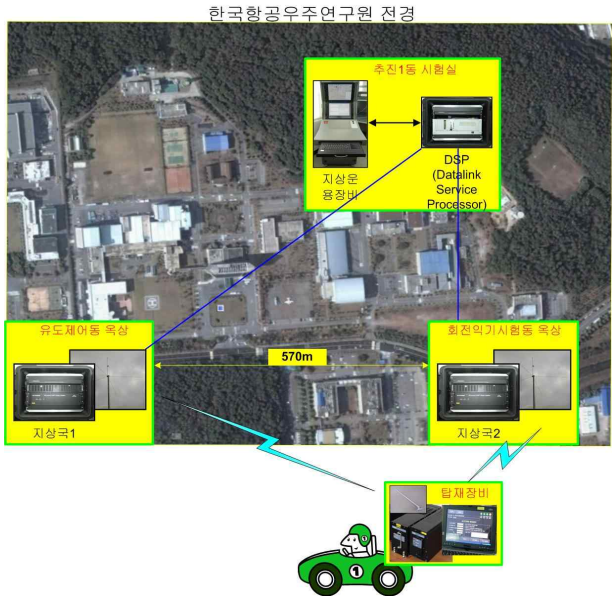
시험항목	규격		시험결과
	내용	문서	만족/불만족
주파수 내성 - CS	Section 20. Category R	DO-160D	규격만족
주파수 내성 - RS	Section 20. Category R	DO-160D	규격만족
전자파 방사 - CE	Section 21. Category L	DO-160D	규격만족
전자파 방사 - RE	Section 21. Category L	DO-160D	규격만족

6. 2단계 지상시험

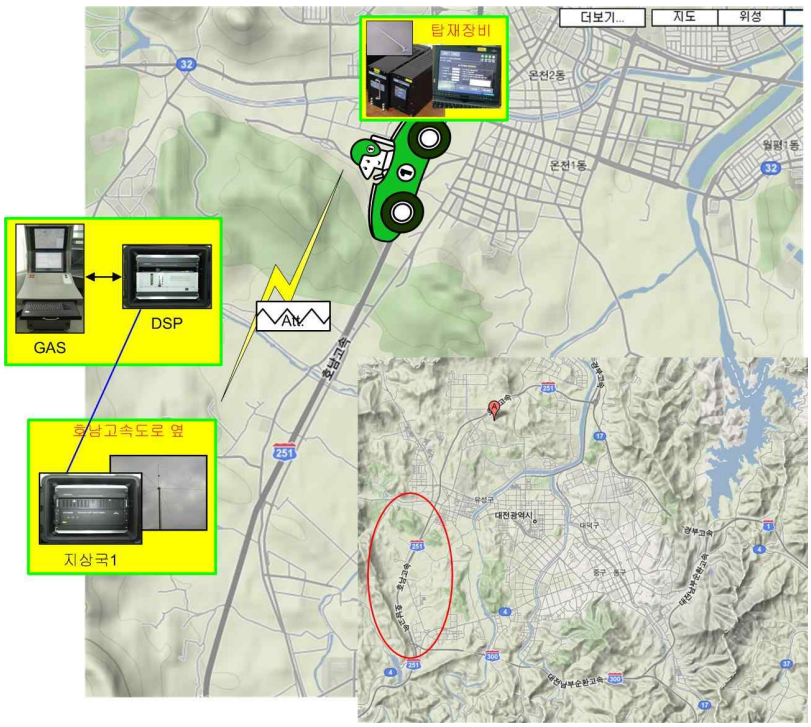
2단계 지상시험은 VDL M2 지상국을 야외에 설치하고 탑재장비를 차량에 설치하여 이동시 핸드오프, 링크설립, 실 야외 환경에서의 통신상태를 등을 점검하기 위하여 수행되었다. 본 시험은 먼저 <그림 3-7-6-1>와 같이 한국항공우주연구원에 지상국 2개를 설치하고 탑재통신장비는 시험실에 설치한 후 동작확인을 시험하였다. 그리고 <그림 3-7-6-2>와 같이 지상국은 동일하게 설치되어 있는 상태에서 연구소주변을 주행하면서 핸드오프 및 링크 상태를 확인하였다. 그리고, 고속주행환경에서의 통신장비가 정상적으로 링크를 설립하는지와 유지하고 있는 시험하기 위하여 <그림 3-7-6-3>과 같이 호남고속도로를 고속 주행하면서 시험을 수행하였다.



<그림 3-7-6-1> 2단계 지상시험을 위한 지상국 설치 후 동작확인



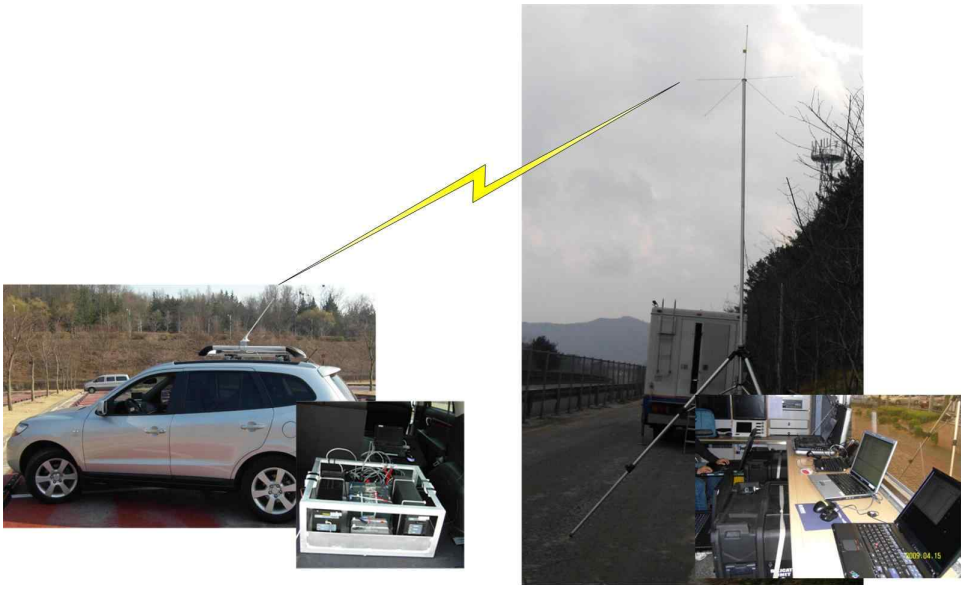
<그림 3-7-6-2> 차량탑재 저속주행시험



<그림 3-7-6-3> 차량탑재 고속 주행시험

시험은 추진 현황은 <표 3-7-6-1>와 같이 2009년 3월 2일부터 시작하여 비행 시험전인 2009년 4월 15일까지 수행하였다. 본 시험은 야외 시험인 관계로 시험환

경이 매우 열악하였으며, 지상국 설치를 위한 차량은 연구소에서 보유하고 있는 무인기 관제차량을 대여하여 활용하였다.



<그림 3-7-6-4> 2단계 지상시험 장면

<표 3-7-6-1> 2단계 지상시험 추진현황

일 자	시험내용	비고
2009. 3. 2 ~ 3. 25.	지상국 설치 및 연구소내 주행시험	
2009. 3. 29	연구소 주변 저속 주행시험 및 호남고속도로 고속 주행시험.	
2009. 4. 2 ~ 4. 3	대청댐 주변 저속 주행시험.	
2009. 4. 15	연구소 주변 저속 주행시험 및 월드컵 경기장 주변 고속 주행시험	

2단계 시험 결과는 <표 3-7-6-2 ~ 3-7-6-3>과 같이 요약 정리할 수 있으며, 여기서 요구한 모든 시험항목을 만족시킴을 보여 주고 있다. 그리고 주행 중 링크 상태는 <그림 3-7-6-5 ~ 3-7-6-8>까지에 나타나 있으며 여기서 보면 지상 장해

물에 의한 링크 단절과 재설립이 자주 일어나고 있음을 알 수 있다.

<표 3-7-6-2> 2단계 지상시험-지상국 설치 후 시험 결과 종합

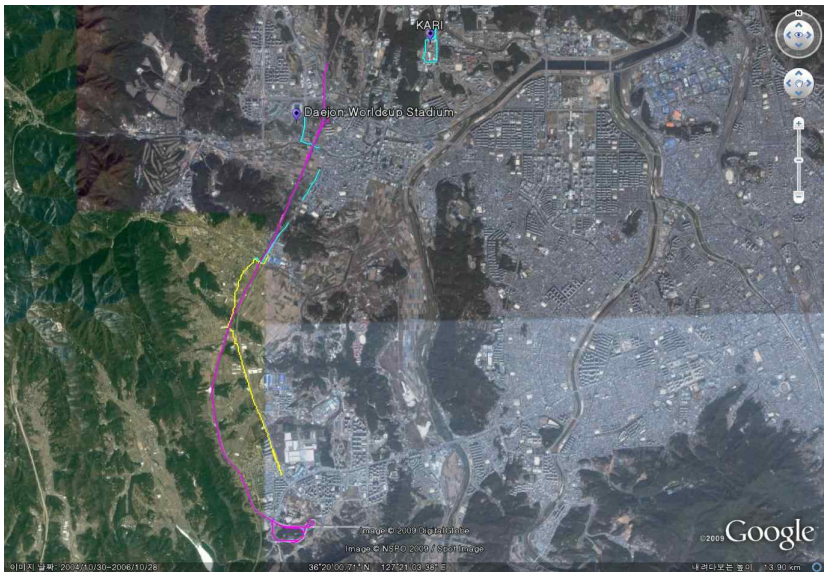
시험항목	시험내용	시험결과	비고
링크 설립	항공기들이 가장 먼저 GSIF가 수신된 GS로의 링크 설립을 요청하여, 응답을 받으면 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
프레임 시퀀싱	INFO 프레임의 프레임 시퀀싱이 요구사항을 만족하는지 확인한다.	합격	
운용시험장비 링크 설립	운용시험장비 링크 설립절차를 통해 항공기 운용시험장비가 지상운용시험장비에 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
CPDLC 메시지 송수신	지상주행시험과 관련하여 운용시험장비의 CPDLC 메시지 송수신 기능이 정상적으로 이루어지는지 확인한다.	합격	
ADS 메시지 송수신	ADS 데이터 송수신이 정상적으로 이루어지고, 데이터 값이 정확한지 확인한다.	합격	
지상국 주파수 같을 경우 Aircraft-Initiated 핸드오프	SQP 저하 및 N2만료에 의해 Aircraft-Initiated 핸드오프가 동일 주파수를 사용하는 GS간에 자동으로 수행되는지 확인한다.	합격	
지상국 주파수 다를 경우 Aircraft-Initiated 핸드오프(a)	SQP 저하 및 N2 만료에 의해 Aircraft-Initiated 핸드오프가 이종 주파수를 사용하는 GS간에 자동으로 수행되는지 확인한다.	합격	
한 개의 기지국이 있을 경우 N2, TG2 만료에 의한 링크 재설립	운용장비를 운용중일 때 N2 및 TG2 만료에 의한 링크 재설립이 발생하여도 데이터 손실없이 적절하게 처리되는지 확인한다.	합격	

<표 3-7-6-3> 2단계 지상시험-저속주행시험 결과 종합

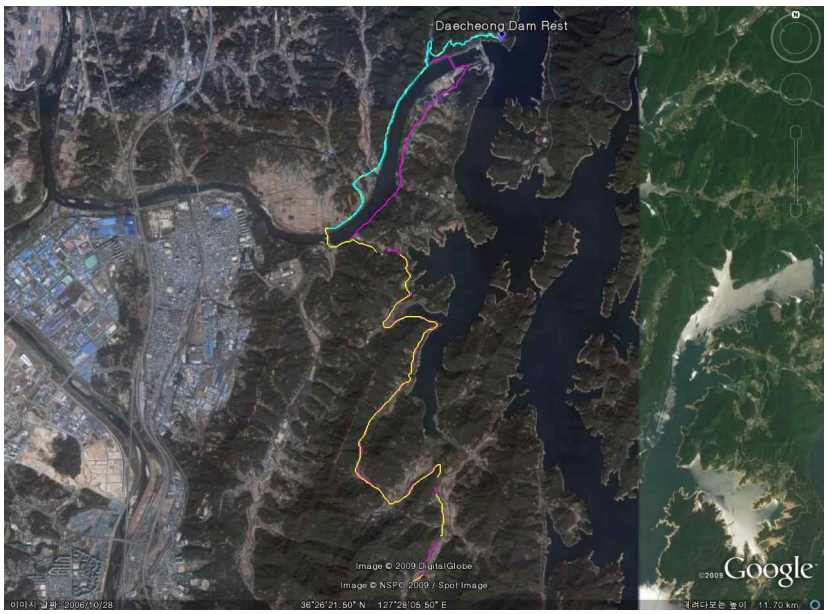
시험항목	시험내용	시험결과	비고
링크 설립	항공기들이 가장 먼저 GSIF가 수신된 GS로의 링크 설립을 요청하여, 응답을 받으면 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
운용시험장비 링크 설립	운용시험장비 링크 설립절차를 통해 항공기 운용시험장비가 지상운용시험장비에 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
CPDLC 메시지 송수신	지상주행시험과 관련하여 운용시험장비의 CPDLC 메시지 송수신 기능이 정상적으로 이루어지는지 확인한다.	합격	
ADS 메시지 송수신	ADS 데이터 송수신이 정상적으로 이루어지고, 데이터 값이 정확한지 확인한다.	합격	
운용장비 운용중 Aircraft-Initiated 핸드오프	운용장비를 운용중일 때 핸드오프 상황이 발생하여도 데이터 손실없이 적절하게 처리되는지 확인한다.	합격	

<표 3-7-6-4> 2단계 지상시험-고속주행시험 결과 종합

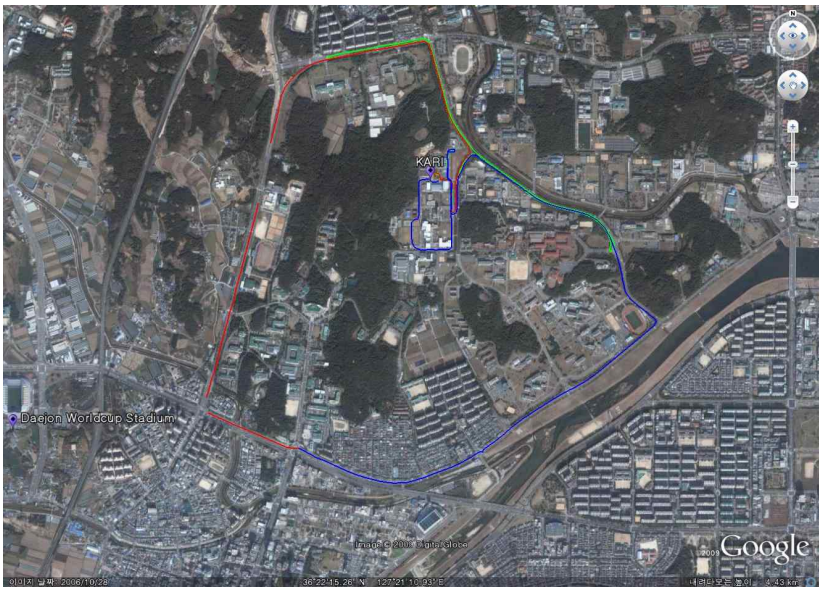
시험항목	시험내용	시험결과	비고
링크 설립	항공기들이 가장 먼저 GSIF가 수신된 GS로의 링크 설립을 요청하여, 응답을 받으면 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
운용시험장비 링크 설립	운용시험장비 링크 설립절차를 통해 항공기 운용시험장비가 지상운용시험장비에 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	
CPDLC 메시지 송수신	지상주행시험과 관련하여 운용시험장비의 CPDLC 메시지 송수신 기능이 정상적으로 이루어지는지 확인한다.	합격	
ADS 메시지 송수신	ADS 데이터 송수신이 정상적으로 이루어지고, 데이터 값이 정확한지 확인한다.	합격	
고속 주행시 데이터 송수신 상태 확인	90Km/hr 이상의 속도로 주행할 때 248bytes 크기의 AVLC 프레임을 ADS-C 데이터 주기에 맞추어서 전송하고, 이 데이터가 제대로 송수신되는지 확인한다. 또한 송수신 시 발생하는 SQP평균 값 등의 항목의 데이터 획득이 용이한지 확인한다. (RS Block Message Test 기능 이용)	합격	
고속 주행시 링크 설립	고속 주행시 항공국이 GSIF를 방송한 GS에 링크 설립을 요청하여, 응답을 받으면 링크를 설립하는지 확인한다.	합격	



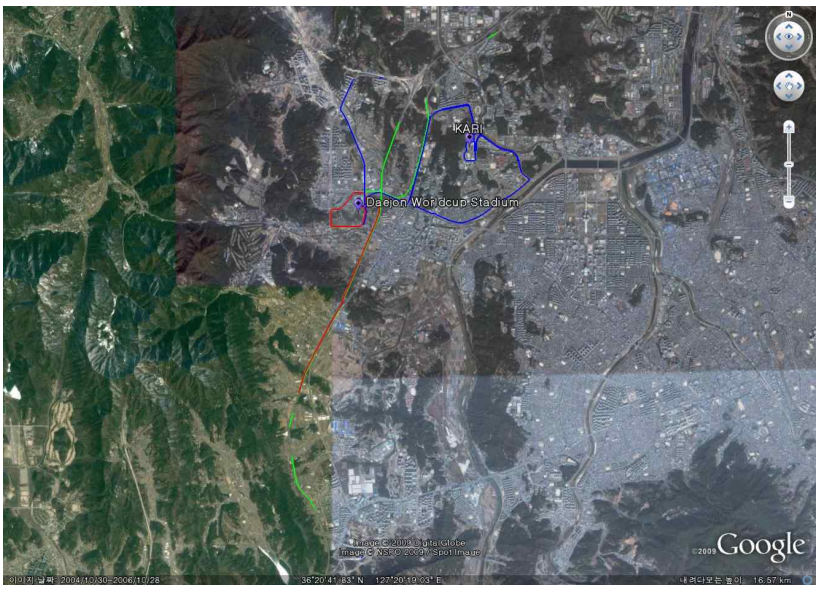
<그림 3-7-6-5> 연구소주변 및 호남고속도로 주행시험 링크상태 (2009.3.29)



<그림 3-7-6-6> 대청댐 주변 주행시험 링크 상태(2009. 4. 2~3)



<그림 3-7-6-7> 연구소 주변 주행시험 링크 상태(2009. 4. 15)



<그림 3-7-6-8> 대전 월드컵경기장 주변 주행시험
링크상태(2009. 4. 15)

7. 비행시험

비행시험은 VDL M2 데이터링크 통신시스템에 대해서 실제 비행환경에서의 운용반경과 도플러 천이 및 확산 환경에서의 링크 상태를 확인하기 위하여 수행되

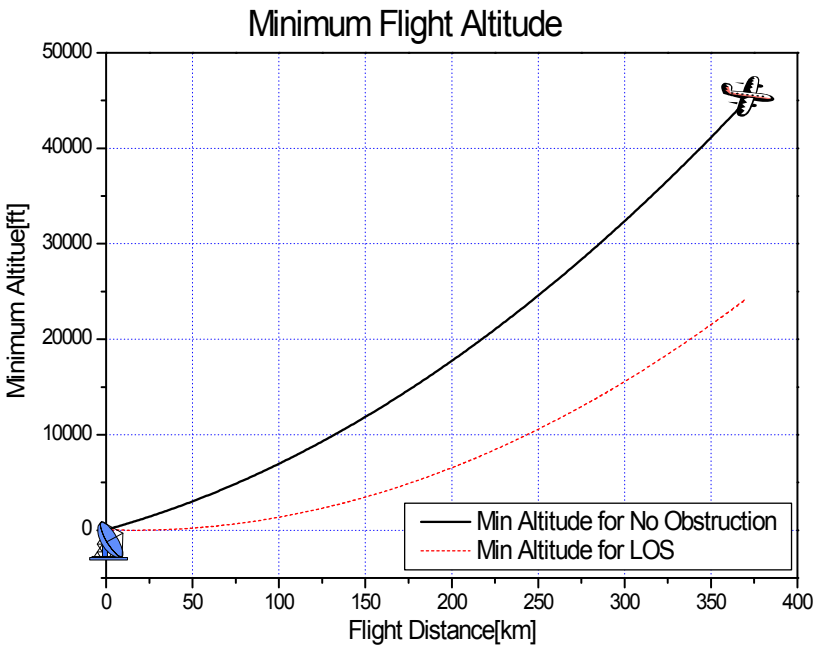
었다. 비행시험에 활용된 항공기는 국토해양부 항공안전본부의 협조를 얻어 비행검사용 항공기를 이용하였다. 본 과제에서 개발된 연구시제품은 지상에서 다양한 시험을 통해 성능을 평가하였으나 다음에 대한 성능평가는 실 비행시험을 통해서만 수행이 가능하다.

- 항공기 고속 이동에 따른 전파의 지면 반사 다중경로 환경에서의 통신장비의 성능 확인
- 고속 비행시 발생되는 전파의 스펙트럼 확산 및 도플러 천이 상황에서의 통신 성능 확인
- 통신가시선(LOS : Line of Sight) 확보된 상태에서 통신운용 반경 측정 ⟹ 지구가 타원체로 인해 지상에서 장거리 통신가시선 확보 불가

비행시험을 위한 비행항로는 지상 장애물이 가장 적다고 판단되는 <그림 3-7-7-1>와 같이 김포와 제주간 항로로 비행계획을 수립하였다. 통신 운용반경을 측정하기 위해서는 지상국 기준 200NM(370Km) 이상을 비행하여야 하며 지상이 평지라고 가정하면 지상 장애물에 의한 전파회절의 영향을 없애기 위해서는 <그림 3-7-7-2>과 같이 비행고도는 45,000ft이상 되어야 한다. 그리고, 지상통신장비는 항공기와의 통신가시선(LOS)이 잘 확보될 수 있도록 국토해양부의 항행표준센터 옥상에 설치하였다.

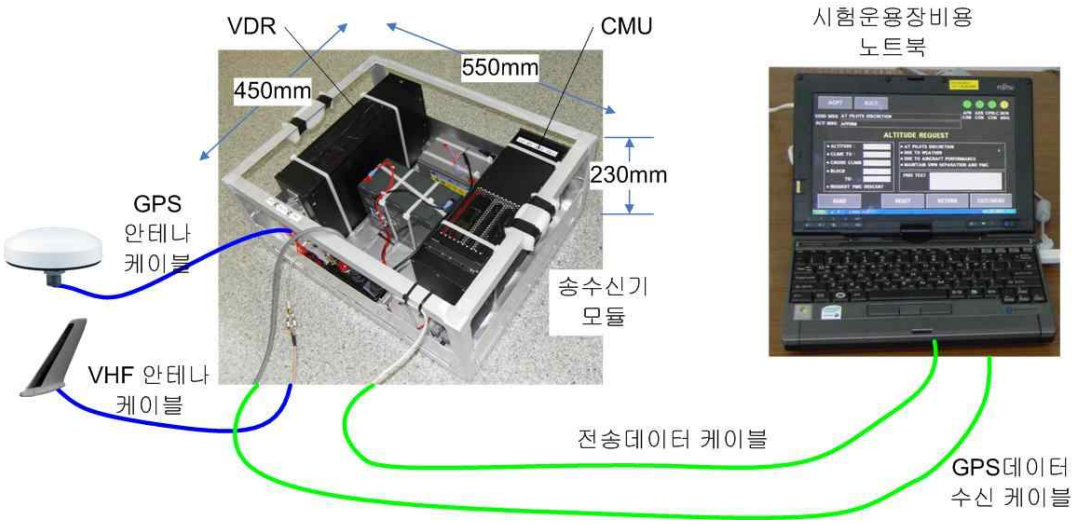


<그림 3-7-7-1> 비행시험을 위한 비행항로 계획



<그림 3-7-7-2> 전파 차단이 없는 최소 비행고도

비행시험을 위한 항공기 탑재장비는 <표 3-7-7-1>와 같은 장비로 구성되는데, 장비에 공할 전원 항공기에 영향을 미치지 않도록 배터리를 이용하여 독립적인 전원이 공급되도록 하였다. 여기에서와 같이 탑재장비는 다수의 구성품으로 구성됨으로 이를 항공기에 탑재하기 위해서 <그림 3-7-7-3, 3-7-7-4>와 같이 탑재장비를 장착구조물에 패킹하여 항공기의 좌석에 고정하였으며 탑재운용시험장비는 항공기의 승객실에 있는 탁자위에 놓고 시험을 수행하였다. 그리고, 탑재 VHF안테나와 GS안테나는 항공기에 설치되어 있는 안테나를 이용하여 시험을 수행하였다.



<그림 3-7-7-3> 탑재장비 패킹 및 연결도



<그림 3-7-7-4> 탑재장비 장착 및 비행검사용 항공기

<표 3-7-7-1> 비행시험 관련 항공기 탑재장비의 특징

구성품	외형	특징	비고
탑재 송수신기 (VDR)		·RF 출력전력 : 15W ·RF특성 : DO-244B/281만족 ·수신감도 : -98dBm ·주파수 : 118~137MHz ·채널간격 : 25KHz ·크기: 3MCU(360[L]×93[W]×198[H]) ·무게 : 4Kg	126.850, 127.276MHz 시험국 주파수 허가
탑재 통신관리기 (CMU)		·통신링크관리, 메시지처리 ·크기 : 4MCU(360[L]×124[W]×198[H]) ·무게 : 4Kg	
탑재운용 시험장비		·CPDLC, ADS-C 기능 ·8.9″노트북 ·크기 : 170[L]×230[W]×37[H] ·무게 : 1.0Kg	비행검사용 항공기 테이블에 설치
GPS수신기		·채널 : 14개 L1 GPS ·소비전력 : 1.4W . 무게 : 0.3Kg	
전원공급 배터리		·형태 : 연(납)축전지 ·용량 : 24V/10Ah × 2 ·크기 : 200(L)×97(W)×150(H) ·무게 : 8Kg	탑재통신장비용 전원(24Vdc)
전원공급 배터리		·형태 : 연(납)축전지 ·용량 : 12V/12Ah ·크기 : 151(L)×98(W)×94(H) ·무게 : 4.0Kg	GPS수신기용 전원공급(12Vdc)
		총무게 : 21.3Kg이하	패킹치구 제외 무게

지상장비는 <그림 3-7-7-5, 3-7-7-6>과 같이 김포공항내에 위차하고 있는 국토해양부 항행표준센터에 설치하였다. 이와 관련하여 지상안테나는 항행표준센터 옥상에 설치하고 지상국(GS), 데이터링크서비스처리기(DSP), 지상운용장비는 항행표준센터 1층 휴게실에 설치하여 시험을 수행하였다.



<그림 3-7-7-5> 지상통신장비 및 안테나 설치



<그림 3-7-7-6> 지상국 설치 위치(김포공항 항행표준센터)

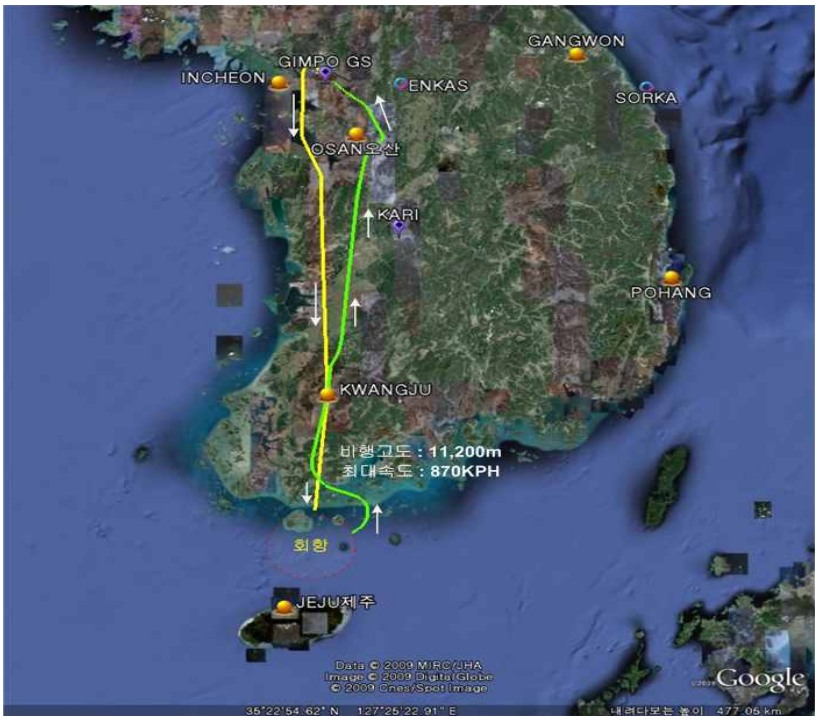
비행시험 추진경위는 <표 3-7-7-2>과 같이 시험시험은 2회 실시되었으며 1차 비행은 김포/제주간 항로를 따라 비행하였으며 2차 비행은 김포, 인천, 강원, 포항, 청주, 김포로 이어지는 항로를 따라 비행하였다.

1차 비행시험시 비행했던 비행경로는 <그림 3-7-7-7>과 같으며 이 때의 링크 상태는 <그림 3-7-7-8>와 같다. 여기서 보면 이륙후 양호한 통신상태를 우지하고 있으며 목표 부근(약 310Km)에서 링크가 단절되었다. 링크 단절이 발생하자 제주까지 비행하려는 계획을 변경하여 고흥만 부근에서 회항하기로 결정하였다. 회항시에도 역시 310Km부근에서 링크가 설립되어 김포공항에 도착 후 착륙시까지 양호한 통신상태를 유지하고 있음을 알 수 있다. <그림 3-7-7-9, 3-7-7-10>은 비행고도와 비행속도를 보여주고 있으며, 여기서 보면 비행속도에 상관없이 링크 상태는 양호하므로 개발된 통신장비가 도플러 영향을 거의 받지 않고 잘 동작됨을 알 수 있다. 그리고 비행고도를 보면 지상 전파회절이 없는 고도이상을 유지하고 있음을 알 수 있지만 실제 지면은 높은 빌딩 및 산이 존재함으로 실제 통달거리를 비행시험을 통해 측정하기는 어렵다고 판단된다. 따라서 실제 정략적인 측정은 실험실에서 수신신호세기 대비 프레임오율(FER)로 통신거리 요구조건을 만족하는

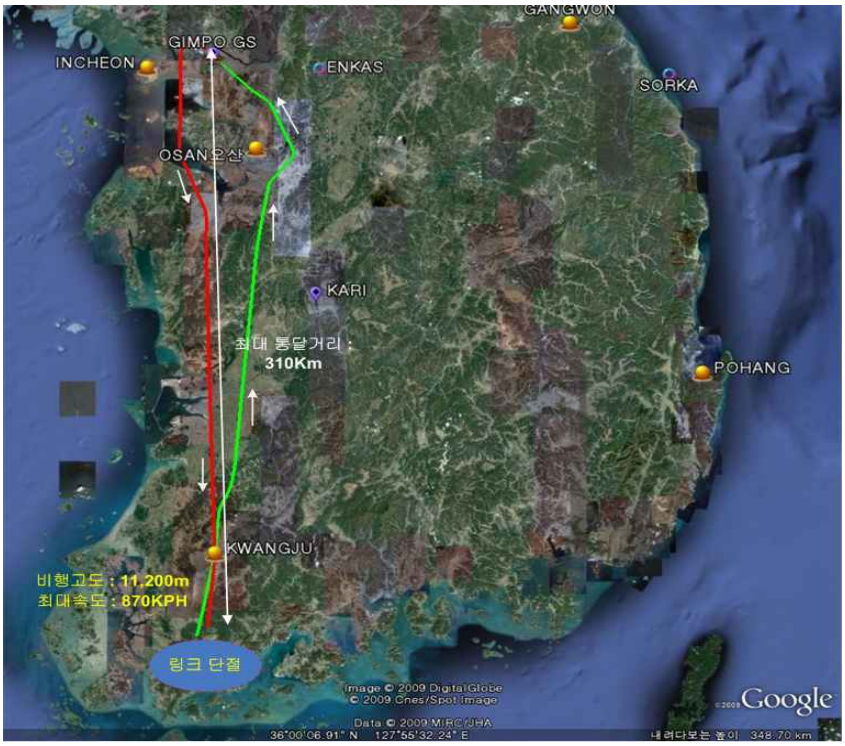
지 측정할 수 있으며 본 과제에서 측정된 수신신호세기 대비 FER은 <그림 3-7-7-11>와 같으며 이를 <그림 3-7-7-12>의 그래프에 따라 요구되는 비트오율(BER)로부터 FER을 환산하면 약 15%정도됨을 알 수 있고 이 상태의 수신신호세기는 약 -100dBm정도로 측정됨을 알 수 있다. <그림 3-7-7-13, 3-7-7-14>는 비행시험을 통해 측정한 FER을 나타내는 그래프로 여기서 보면 약 300Km부근에서 FER이 급격히 증가함을 알 수 있다.

<표 3-7-7-2> 2단계 지상시험-고속주행시험 결과 종합

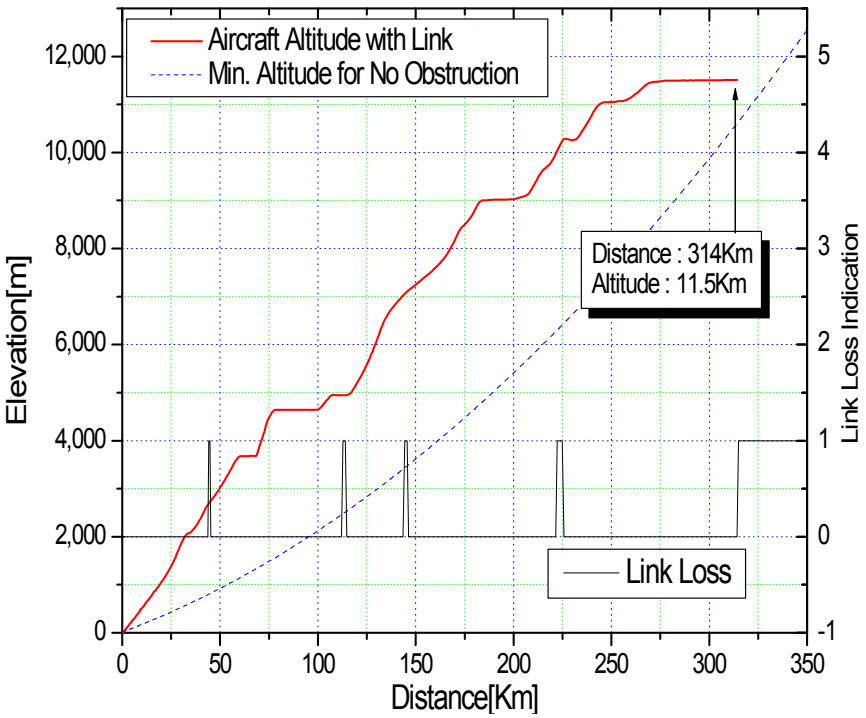
비행시험	시험일지	비고
1차 비행	○ 2009. 4. 16 : 장비설치 사전점검 ○ 2009. 4. 17 : 1차 비행시험 수행 - 14:00 이륙 - 15:21 착륙 - 총비행시간(1시간 21분) ○ 비행경로 및 항로 - 최대속도 : 870Km/Hr, - 최대고도 : 11,500m - 항로 : 김포 → 오산 → 광주 → 제주 → 광주 → 오산 → 김포 - 목포 부근에서 링크단절이 발생하여 회항	
2차 비행	○ 2009. 4. 22 : 장비설치 사전점검 ○ 2009. 4. 23 : 2차 비행시험 수행 - 12:56 이륙 - 14:56 착륙 - 총 비행시간(2시간) ○ 비행경로 및 항로 - 최대속도 : 850Km/Hr, - 최대고도 : 10,800m - 항로 : 김포 → 인천(3회 선회) → 오산 → 강원 → 포항 → 예천 → 김포	



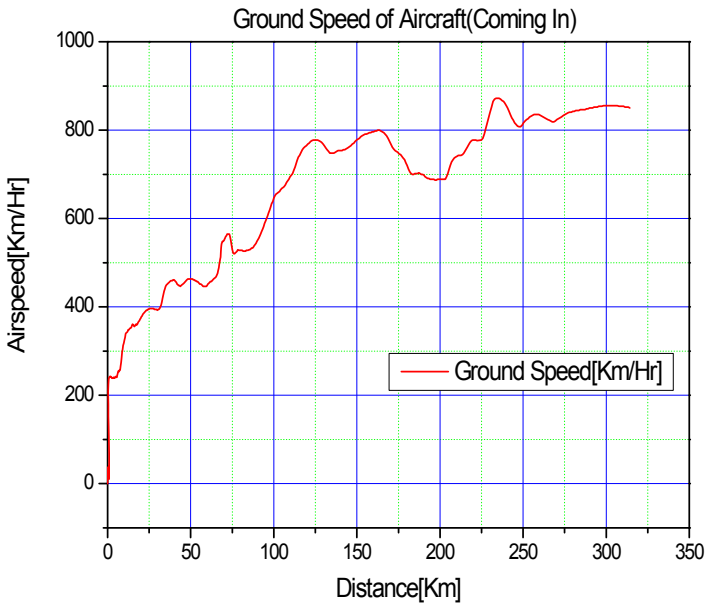
<그림 3-7-7-7> 1차(2009.4.19) 비행시험 비행경로



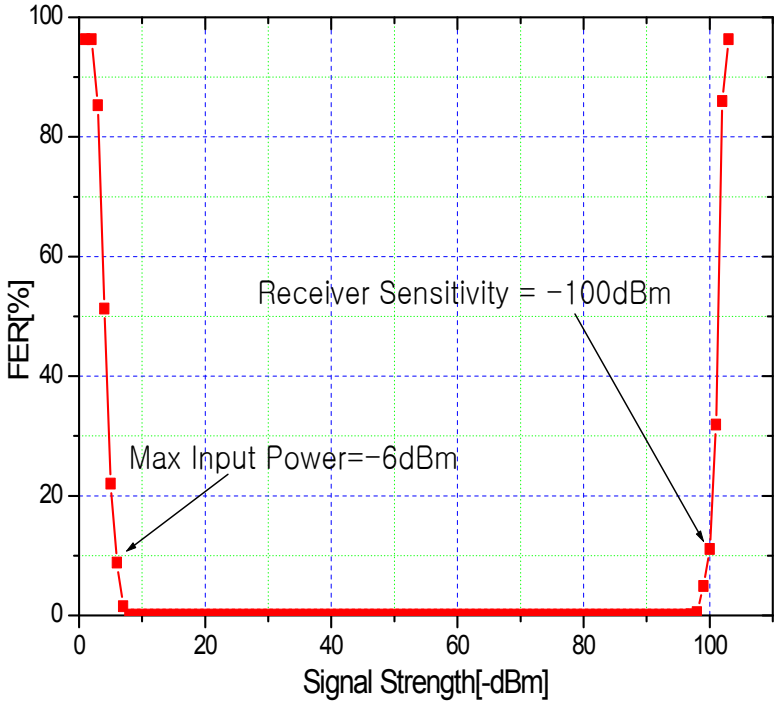
<그림 3-7-7-8> 1차 비행시험 통신상태 및 통달거리



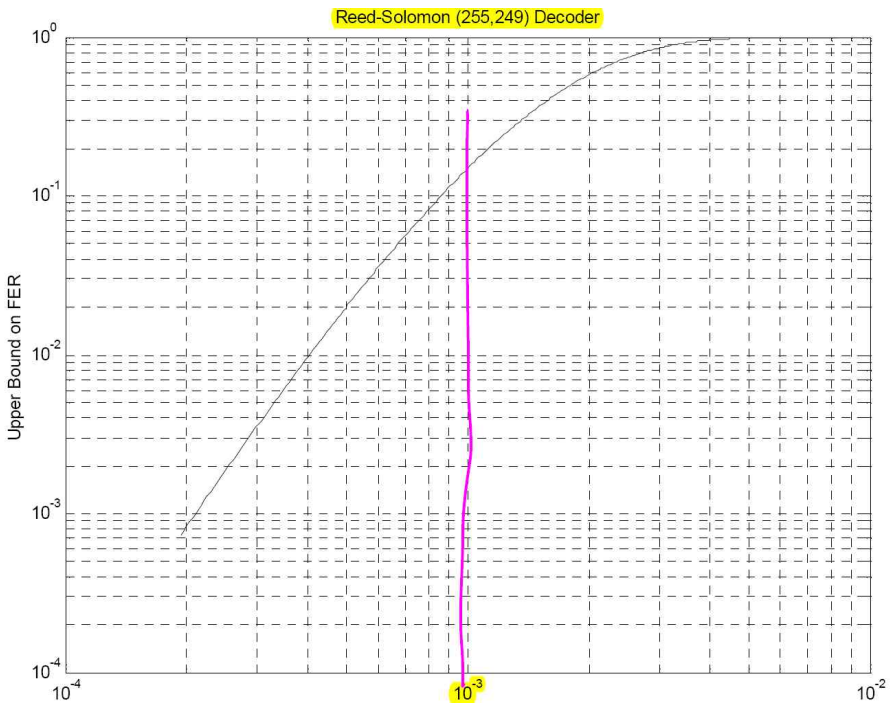
<그림 3-7-7-9> 해수면 기준 전파 회절손실이 없는 최소고도 및 실제 비행고도(1차 비행시험)



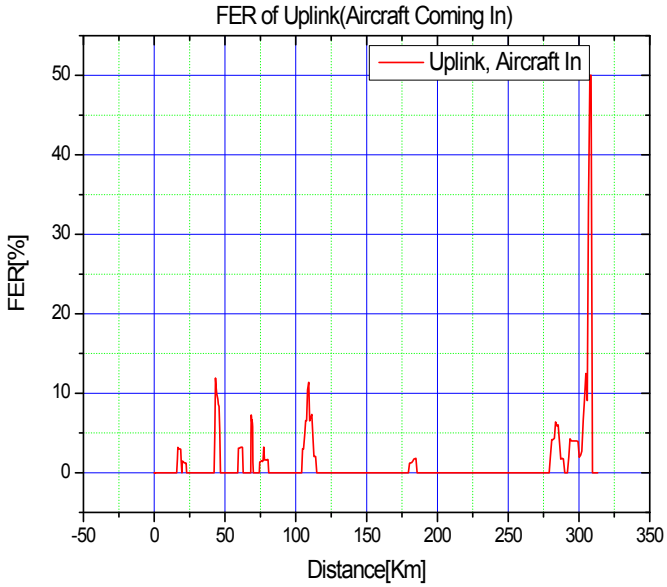
<그림 3-7-7-10> 비행거리에 따른 비행속도(1차 비행시험)



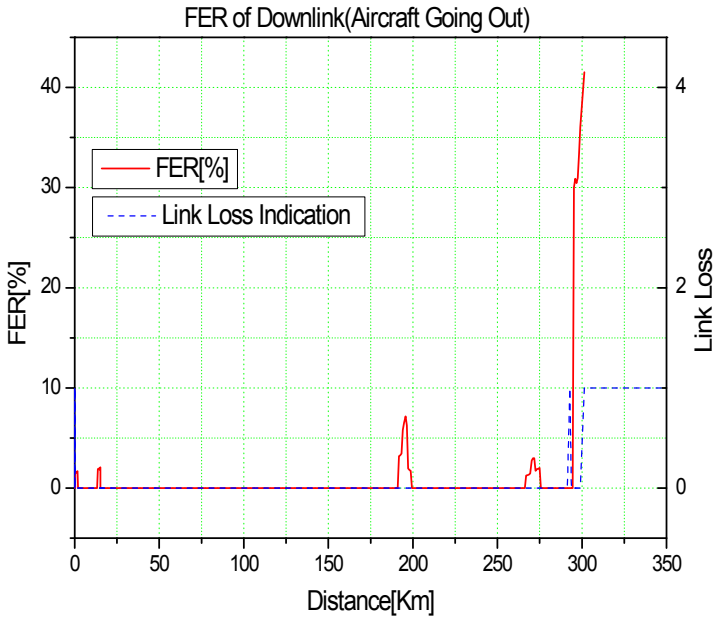
<그림 3-7-7-11> 수신신호전력 대 프레임오율(FER)



<그림 3-7-7-12> 프레임오율(FER)과 BER간의 상관관계



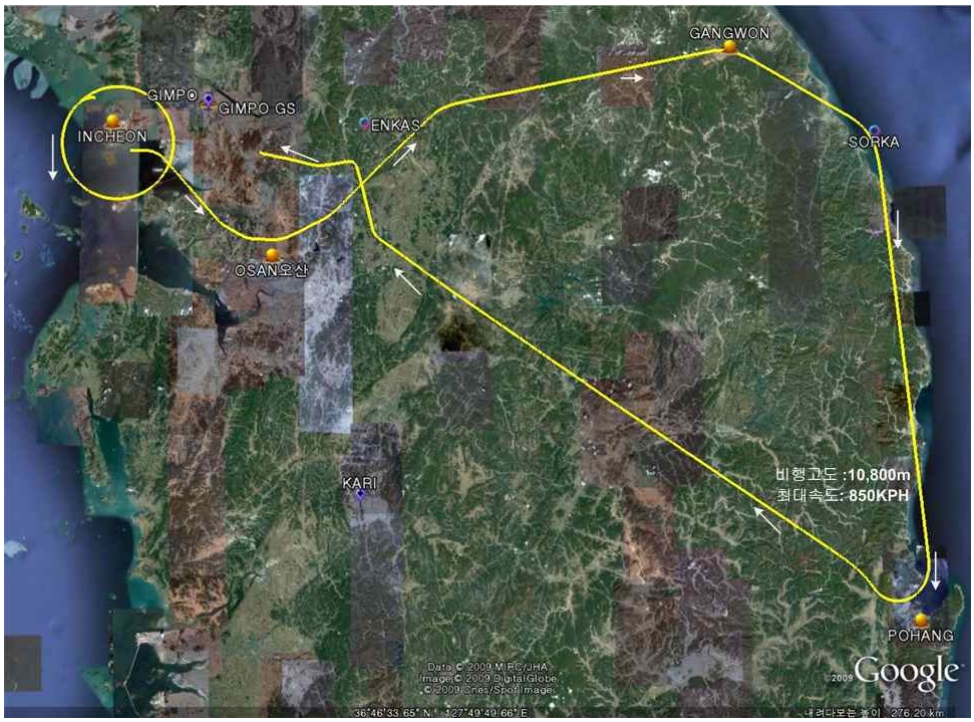
<그림 3-7-7-13> 비행거리에 따른 Uplink 프레임오율(FER)
(1차 비행시험)



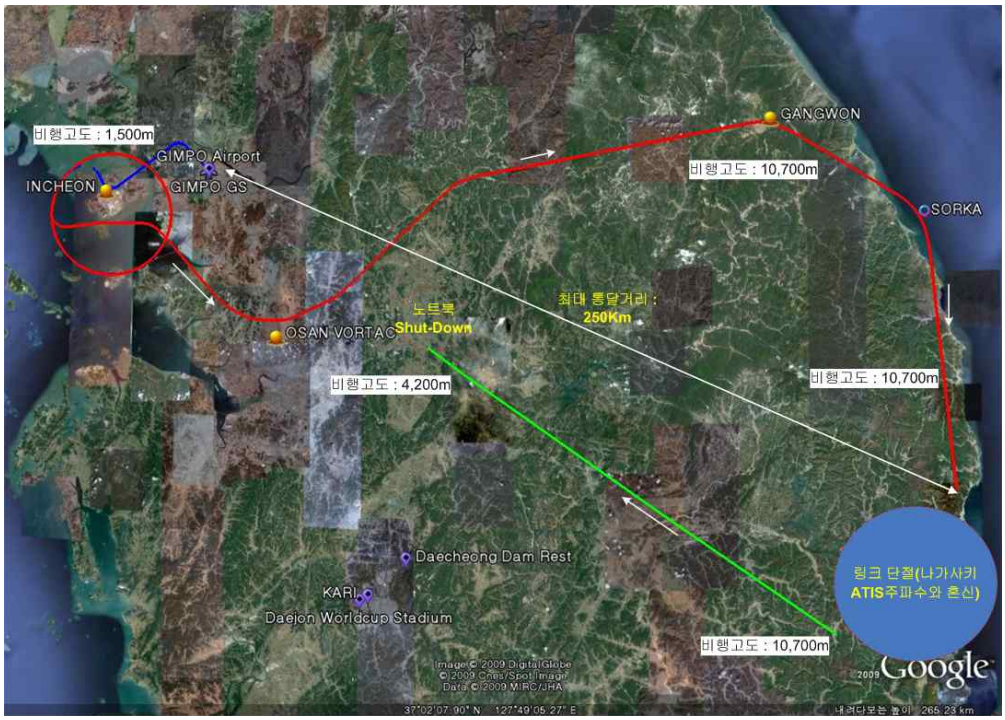
<그림 3-7-7-14> 비행거리에 따른 Downlink 프레임오율(FER)
(1차 비행시험)

2차 비행시험은 계획했던 항로와 달리 내륙을 관통하는 항로로 비행시험 경로를 변경하여 시험을 수행하였다. 비행했던 비행경로는 <그림 3-7-7-15>과 같으며

이 때의 링크상태는 <그림 3-7-7-16>과와 같다. 여기서 보면 이륙후 인천 VOR 시험을 위해 인천공항 부근에서 저고도 비행을 수행하였으며, 이때 저고도에 따른 링크단절과 링크재설립이 3차례 정도 발생하였다. VOR시험 종료후 VDL통신장비 시험을 위해 강원 → 포항 → 예천 → 김포 항로로 비행, 울진 부근에서 일본의 나가사키 공항의 ATIS통신장비와 전파 혼신이 발생하여 링크 단절 발생하였다. 김포공항 회항시에는 예천 부근에서 링크가 재 설립되었으며 충주부근에서 탑재 운용시험장비 노트북 고장으로 통신시험이 중단되었다.



<그림 3-7-7-15> 2차(2009. 4. 23) 비행시험 비행 경로



<그림 3-7-7-16> 2차 비행시험 통신상태 및 통달거리

본 시험은 고속 비행환경에서의 통신성능과 기지국 운용반경을 측정하기 위하여 수행되었다. 1차(2009. 4. 17) 비행시험은 김포↔제주 항로를 따라 비행하였으며 시험결과 310Km까지 양호한 통신상태를 유지하고 있음을 확인하였으며 2차(2009. 4. 23) 비행시험은 김포 → 강원 → 포항 → 예천 → 김포 항로를 따라가는 비행시험을 수행하였으며 포항부근에서 나가사키 공항의 ATIS방송 주파수와 혼신이 발생하였고, 회항시에는 청주 부근에서 탑재 노트북 고장으로 시험이 중단되는 아쉬움은 있었으나 250Km까지 통신 통달거리를 확인하였다. 따라서, 1차, 2차 비행시험을 통해 실비행 상태에서 기지국 기준 통신운용 반경이 약 300Km이상으로 측정되었으며 고속비행으로 발생되는 도플러 영향 및 장거리 통신 다중경로에서도 강건한 통신상태를 유지함을 확인하고 있음을 확인할 수 있었다.

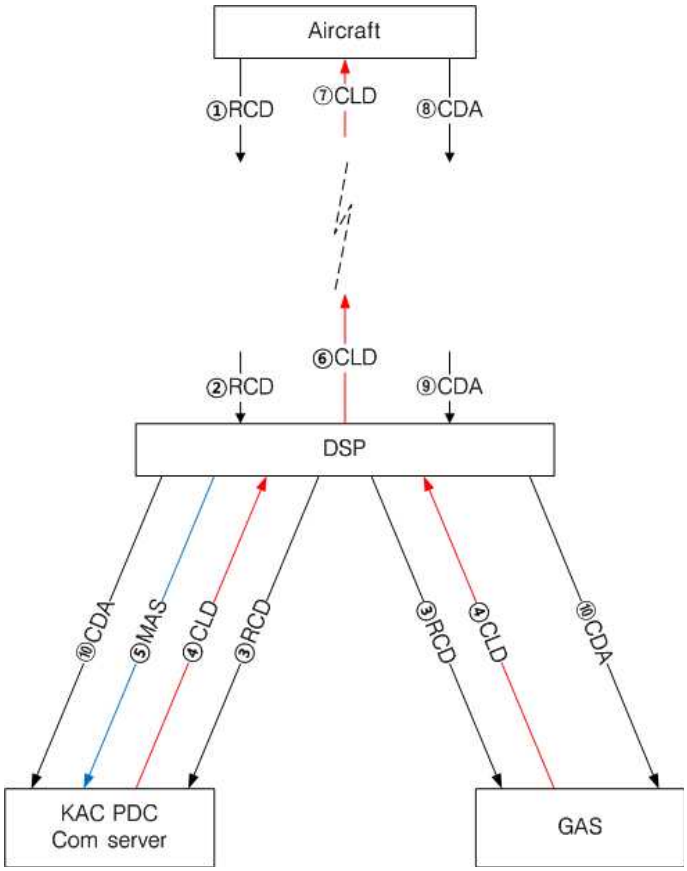
8. 공항시설 연동시험

본 과제에서 개발한 VDL M2 시스템과 공항시설인 PDC(Pre-Departure Clearance) 시스템과의 상호연동 호환성을 확인하기 위한 목적으로 연동시험을 수행하는 것이다. 연동시험 일정은 다음 표와 같다.

<표 3-7-8-1> 항공시설 연동시험 일정

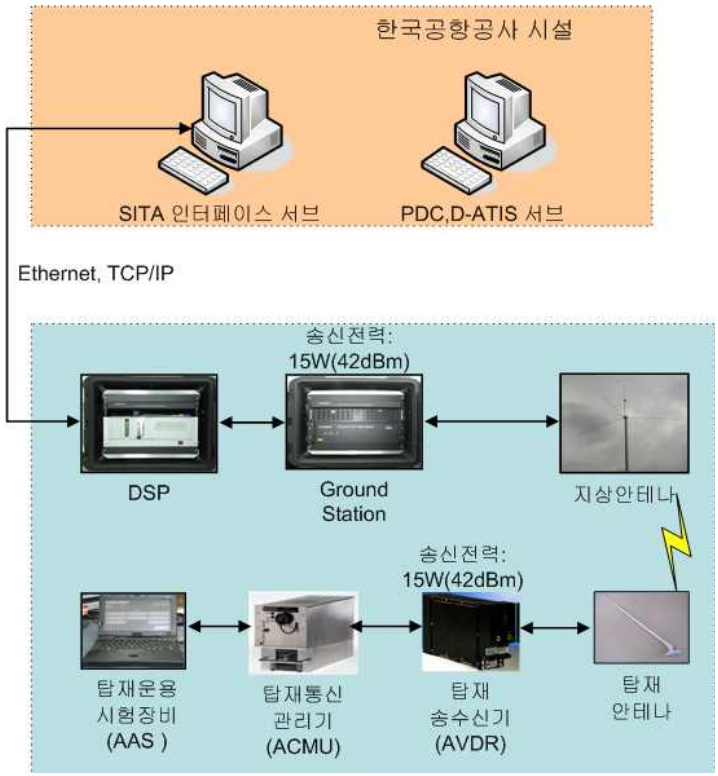
주요 업무 내용	일정계획	비고
공항시설 상호연동 기술협의	2008년 11월 ~ 12월	2008년 11월 말에 기술협의 수행
인터페이스 확인	2009년 1월 ~ 2월	2009년 1월 중순에 수행
공항시설 PDC 연동시험	2009년 3월 ~ 4월	2009년 5월 7~8일 김포공항에서 수행

PDC 서비스는 VDL M2 시스템을 이용하는 항공기가 공항에서 이륙하기 전 관제탑과 주고받는 이륙 전 메시지 서비스이다. 이 메시지에는 이륙전 반드시 필요한 출발지 공항, 목적지 공항 등의 정보를 담고 있으면 비행 및 관제에 반드시 필요한 필수 정보 등을 전달하는 기능을 수행한다. PDC 메시지 전달 절차는 다음 그림과 같다.



<그림 3-7-8-1> PDC 메시지 전달 순서

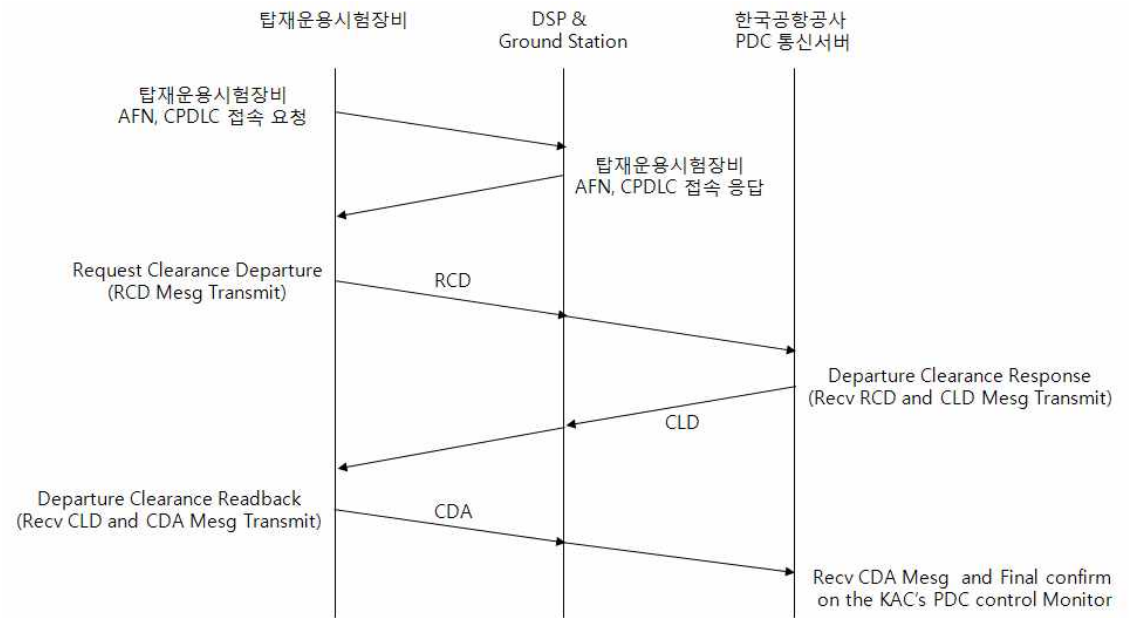
한국공항공사의 공항시설인 PDC 연동시험 구성은 <그림 3-7-8-2>와 같은 개념으로 시스템을 연결하여 시험을 수행하였으며, 이 시험을 통해 현재 공항시설인 PDC 서비스 정보가 국내 개발된 VDL M2 데이터링크를 통해 정확하게 탑재운용시험장비(AAS)와 송수신되는지 확인하고자 함이다. 연동시험장비 구성도는 다음 그림과 같이 구성하였다.



<그림 3-7-8-2> 공항시설(PDC) 연동 시험 구성도

가. 시험 절차

<그림 3-7-8-3>과 같은 절차에 의해 PDC기능을 시험하며, 시험항목으로는 RCD(Request Clearance Departure), CLD(Departure Clearance Response), CDA(Departure Clearance Readback) 메시지를 정상적으로 송수신하는지 확인한다. 메시지 정상 수신확인은 한국공항공사의 관제화면에서 PDC 메시지들이 정상적으로 수신 확인 및 탑재운용시험장비에서의 PDC 메시지 수신으로 확인한다.



<그림 3-7-8-3> 공항시설(PDC) 연동 시험 절차도

나. 시험항목 및 결과

(1) 링크설립 시험

탑재장비가 지상국에서 송신한 GSIF를 수신하면 해당 지상국에 링크 설립을 요청하여 링크를 설립하는지 확인한다.

순서	시험 절차	비고
1	GVDR -> GCMU순으로 GS의 전원을 인가하고, DSP의 전원을 인가한다.	
2	Air-A 는 VDR -> CMU 순으로 장비의 전원을 인가한다.	
3	GS로부터 GSIF가 송신되는지 확인한다.	MVDL
4	Air-A가 GS로 XID_CMD_LE(P=1)을 보내어 링크 설립을 요청하는지 확인한다.	MVDL
5	GS가 Air-A로 XID_RSP_LE(F=1)을 보내어 링크를 설립하는지 확인한다.	MVDL
6	Air-A가 ABM_single 상태인지 확인한다. 지상 DSP의 LME가 ABM_single 상태를 유지하는지 확인한다.	CMU C&M DSP C&M

(2) PDC 메시지 송수신 상태 확인(KAC 관제터미널 화면 이용)

탑재운용시험장비에서 PDC 요청(RCD) 및 확인(CDA) 메시지를 전송하고, 이 데이터가 정상적으로 수신되는지 KAC 관제터미널 화면에서 확인하고 이에 대한 응답 메시지(CLD)가 탑재운용시험장비에 정상적으로 송신되는지 확인한다.

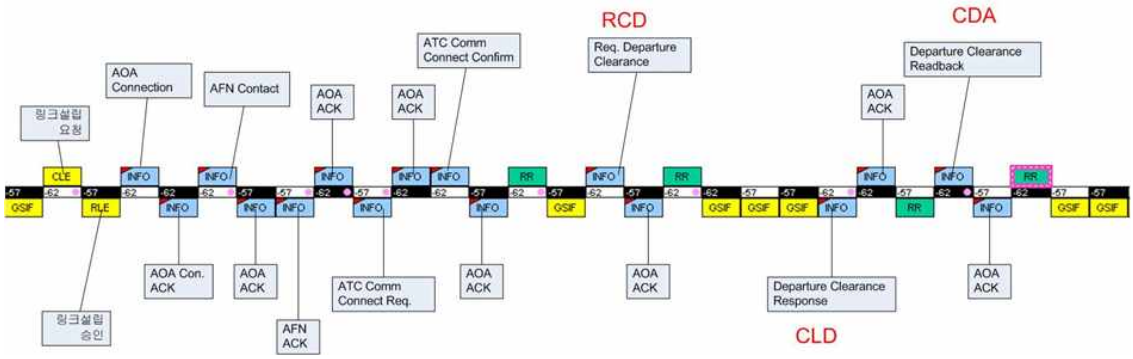
순서	시험 절차	비고
1	AAS와 KAC's PDC 통신서버간 링크가 설립된 상태에서 AAS의 PDC 기능에서 RCD(Request Clearance Departure) 요청을 한다.	AAS
2	KAC 관제터미널에서 RCD 메시지 수신을 확인하고, 정상수신인 경우 확인(CLD, Departure Clearance Response)버튼을 클릭하여 확인 메시지를 전송한다.	KAC's 관제터미널
3	AAS에서 CLD 메시지 수신을 확인하고, 메시지 수신확인 리드백(CDA, Departure Clearance Readback)을 한다.	AAS
4	KAC's 관제터미널에서 CDA 메시지 수신을 확인하고, 최종 확인 버튼을 클릭하여 절차를 종료한다.	KAC's 관제터미널

다. 시험 결과

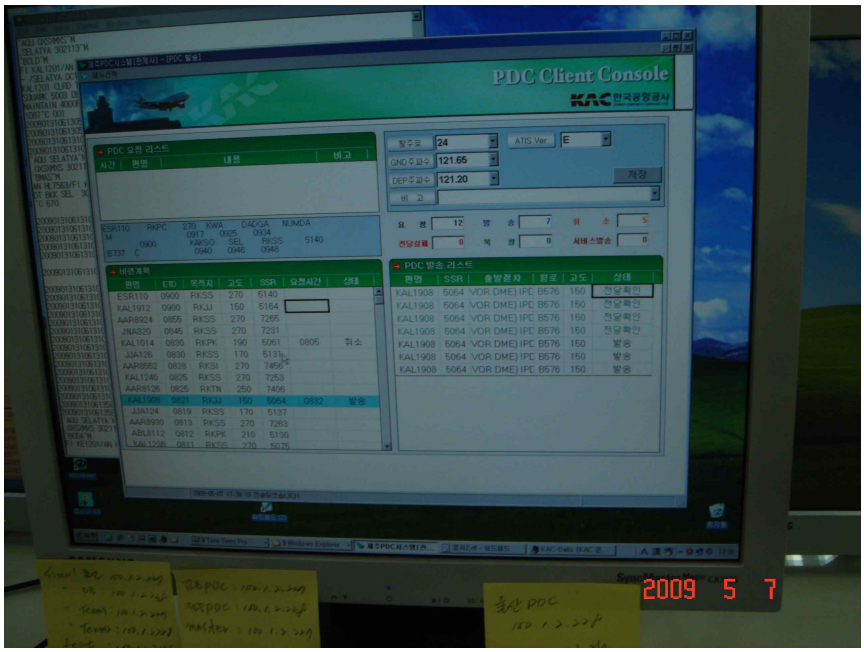
공항시설과의 연동시험에서 다음과 같이 PDC 기능 연동시험 결과를 획득, 확인하였다.

- PDC 메시지 송수신 : 탑재운용시험장비에서 생성된 PDC 메시지(RCD, CLD, CDA)가 지상장비(DSP, GS)를 경유하여 한국공항공사의 PDC 통신서버와 정상적으로 송수신됨을 확인함.
- 프로토콜 분석장비로 링크상에서 지상통신장비와 탑재통신장비간에 상호 전달되는 PDC정보를 확인 함

순서	시험 항목	결과
1	AAS와 KAC's PDC 통신서버간 링크가 설립된 상태에서 AAS의 PDC 기능에서 RCD(Request Clearance Departure) 요청을 한다.	합격
2	KAC 관제터미널에서 RCD 메시지 수신을 확인하고, 정상수신인 경우 확인(CLD, Departure Clearance Response)버튼을 클릭하여 확인 메시지를 전송한다.	합격
3	AAS에서 CLD 메시지 수신을 확인하고, 메시지 수신확인 리드백(CDA, Departure Clearance Readback)을 한다.	합격
4	KAC's 관제터미널에서 CDA 메시지 수신을 확인하고, 최종 확인 버튼을 클릭하여 절차를 종료한다.	합격



<그림 3-7-8-4> 링크상에서 데이터 송수신 상태 확인 결과



<그림 3-7-8-5> 한국공항공사의 PDC처리장치 화면



<그림 3-7-8-6> 한국공항공사의 PDC처리장치 시험 장면

9. 민항기 연동시험

민항기 연동시험은 다음 그림 과 같은 형상으로 대한항공의 민항기와 본 과제

에서 제작된 지상장비의 PDC 기능과의 연동시험을 수행하는 것이다. 본 시험의 목적은 본 과제에서 개발된 장비가 민항기와 정상적으로 통신이 개설되고 VDL M2 통신 및 민항기와의 PDC(Pre Departure Clearance) 서비스가 정상적으로 연동 및 동작하는지 확인하기 위함이다.



<그림 3-7-9-1> 대한항공 항공기와의 연동시험 구성도

가. 시험 계획

○ 국내 개발 중인 VDL M2 데이터링크 지상통신 장비가 KAL(대한항공) 여객기와 호환성이 있는지 확인하기 위해 그림 9와 같은 기능도로 시스템을 연결하여 연동시험을 수행

<표 3-7-9-1> 민항기 연동시험 일정

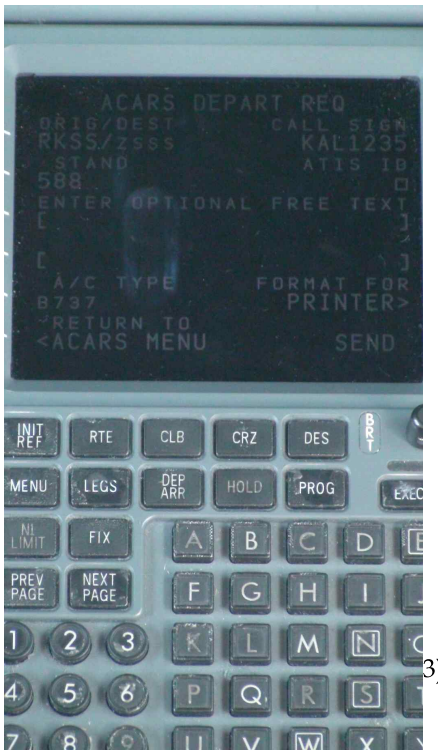
일정 계획	업무내용	비고
2009년 6월 2일	장비설치 및 링크설립 시험	장비를 김포공항 대한항공 주기장에 설치하고 VDL M2링크 설립 시도
2009년 6월 3일	PDC 메시지 전송시험	VDL M2통신장비가 장착되어 있는 대한항공 여객기와 PDC전송 시험
2009년 6월 4일	민항기 연동 현장실사	인하대 : 박효달 교수외 2명 건교평 : 이미정 연구원 시험현장 방문하여 시험결과 확인

○ 시험일시 : 2009. 6. 2 ~ 2009. 6. 4

- 시험장소 : 김포공항 대한항공행거 앞 주기장
- 국내 개발 중인 VDL M2 데이터링크 지상통신 장비가 KAL(대한항공) 여객기와 호환성이 있는지 확인하기 위해 그림 10과 같이 대한항공 주기장에 설치.



<그림 3-7-9-2> KAL 여객기와 연동시험 장비 설치 장면



3)

<그림 3-7-9-3> MCDU화면

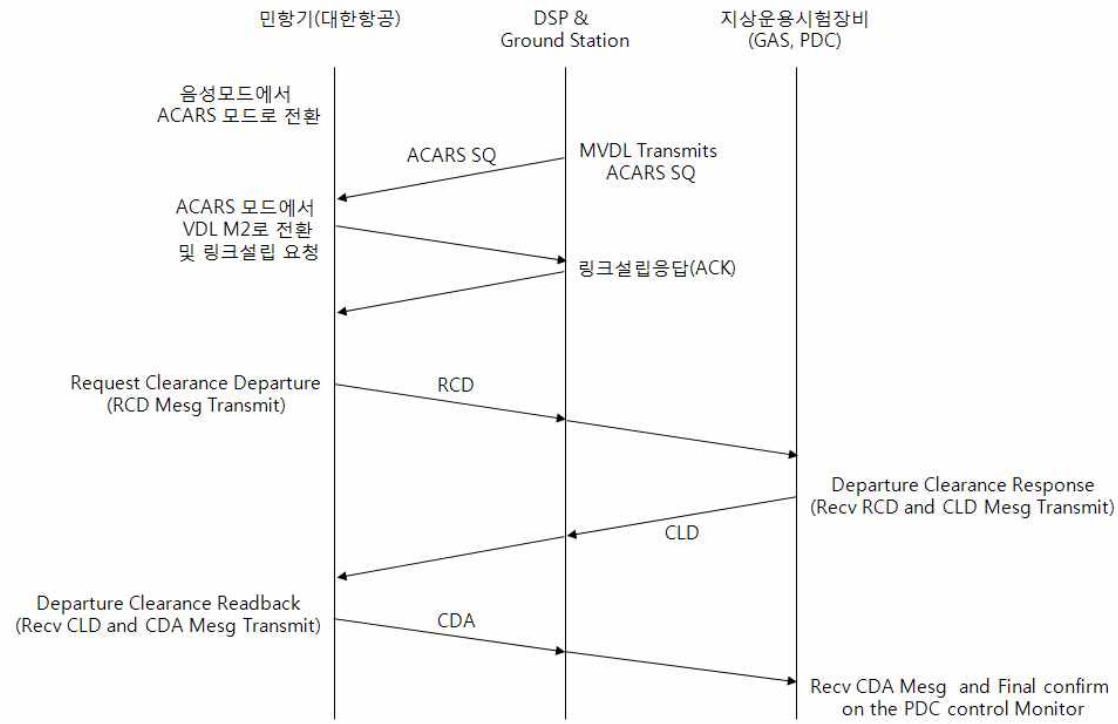


<그림 3-7-9-4> 민항기 연동시험 현장실사 촬영

3) MCDU : Multi-Function Control and Display Unit

나. 시험 절차

대한항공 민항기와의 연동시험 절차는 <그림 3-7-9-5>와 같은 절차에 의해 PDC기능을 시험하며, 시험항목으로는 RCD(Request Clearance Departure), CLD(Departure Clearance Response), CDA(Departure Clearance Readback) 메시지를 정상적으로 송수신하는지 확인한다. 메시지 정상 수신확인은 대한항공기의 조정석 화면에서 PDC 메시지들이 정상적으로 수신되는지 확인 및 지상운용시험장비에서의 PDC 메시지 수신으로 확인한다.



<그림 3-7-9-5> 대한항공 항공기와의 연동시험 구성도

다. 시험항목 및 결과

(1) 링크설립 시험

항공기(B737)가 먼저 음성통신 모드에서 ACARS 모드로 전환 대기한 후 GSIF를 수신하고, 지상국에 링크 설립을 요청하여 링크를 설립하는지 확인한다.

번호	시험 절차	비고
1	GVDR -> GCMU순으로 GS의 전원을 인가하고, DSP의 전원을 인가한다.	
2	MVDL에서 SQ가 정상적으로 송신되는지 확인한다.	MVDL
3	GS로부터 GSIF가 송신되는지 확인한다.	MVDL
4	항공기가 GS로부터 GSIF를 수신하고 VDL M2로 전환되어 링크 설립을 요청하는지 확인한다.	MVDL
5	GS가 항공기로 XID_RSP_LE를 전송하여 링크를 설립하는지 확인한다.	MVDL
6	항공기와의 링크 상태가 ABM_single 상태인지 확인한다. 지상 DSP의 LME가 ABM_single 상태를 유지하는지 확인한다.	CMU C&M DSP C&M

(2) PDC 메시지 송수신 상태 확인(KAL 항공기 조종석 화면 이용)

대한항공기(B737)에서 PDC 요청(RCD) 메시지를 전송하고, 이 데이터가 정상적으로 지상운용시험장비로 수신되는지 GAS-PDC 메뉴 화면에서 확인하고 이에 대한 응답 메시지(CLD)가 항공기 조종석 화면에 정상적으로 수신되는지 확인한다. 최종적으로 CLD 메시지에 대한 확인 메시지인 CDA 메시지가 지상운용시험장비로 수신되는지 GAS-PDC 메뉴 화면에서 확인한다.

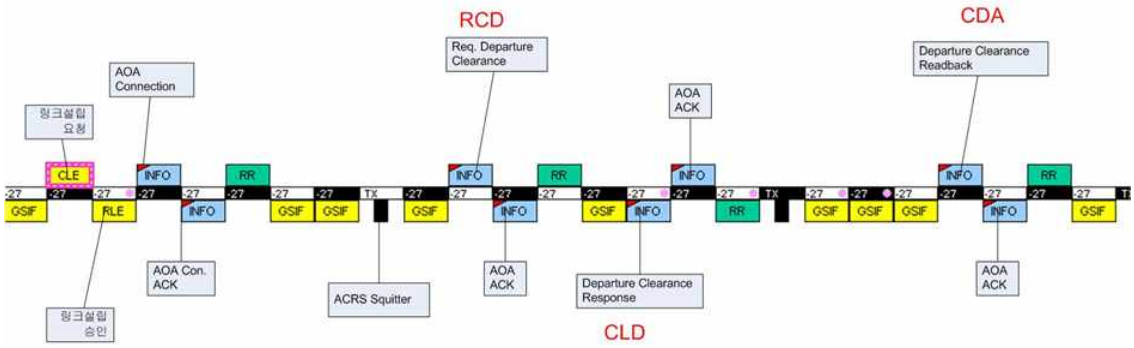
번호	시험 절차	비고
1	항공기와 지상장비간 링크가 설립된 상태에서 항공기의 PDC 기능에서 RCD(Request Clearance Departure) 요청을 한다.	항공기 및 GAS PDC menu
2	GAS의 PDC 메뉴화면에서 RCD 메시지 수신을 확인하고, 정상수신인 경우 확인(CLD, Departure Clearance Response)버튼을 클릭하여 응답한다.	GAS PDC menu
3	항공기에서 CLD 메시지 수신을 확인하고, 리드백(CDA, Departure Clearance Readback)을 한다.	항공기 및 GAS PDC menu
4	GAS PDC menu에서 CDA 메시지 수신을 확인하고 절차를 종료한다.	GAS PDC menu

라. 시험 결과

대한항공의 민항기 연동시험에서 PDC 기능을 포함한 통신시험 결과를 다음 <그림 3-7-9-6>에서 <그림 3-7-9-8>과 같이 획득, 확인하였다.

- 링크 설립: 지상장비(GS)의 GSIF를 수신한 항공기의 VDL M2 장비가 링크 설립 요청을 정상적으로 수행하고 이에 대해 지상장비가 응답하여 VDL M2링크를 정상 설립함을 확인함.
- PDC 메시지 송수신: 민항기와 본 과제 개발 지상장비(DSP, GS, GAS) 간 PDC 메시지(RCD, CLD, CDA)가 정상적으로 송수신됨을 확인함.

번호	시험 항목	결과
1	항공기와 지상장비간 링크가 설립된 상태에서 항공기의 PDC 기능에서 RCD(Request Clearance Departure) 요청을 한다.	합격
2	GAS의 PDC 메뉴화면에서 RCD 메시지 수신을 확인하고, 정상수신인 경우 확인(CLD, Departure Clearance Response)버튼을 클릭하여 응답한다.	합격
3	항공기에서 CLD 메시지 수신을 확인하고, 리드백(CDA, Departure Clearance Readback)을 한다.	합격
4	GAS PDC menu에서 CDA 메시지 수신을 확인하고 절차를 종료한다.	합격



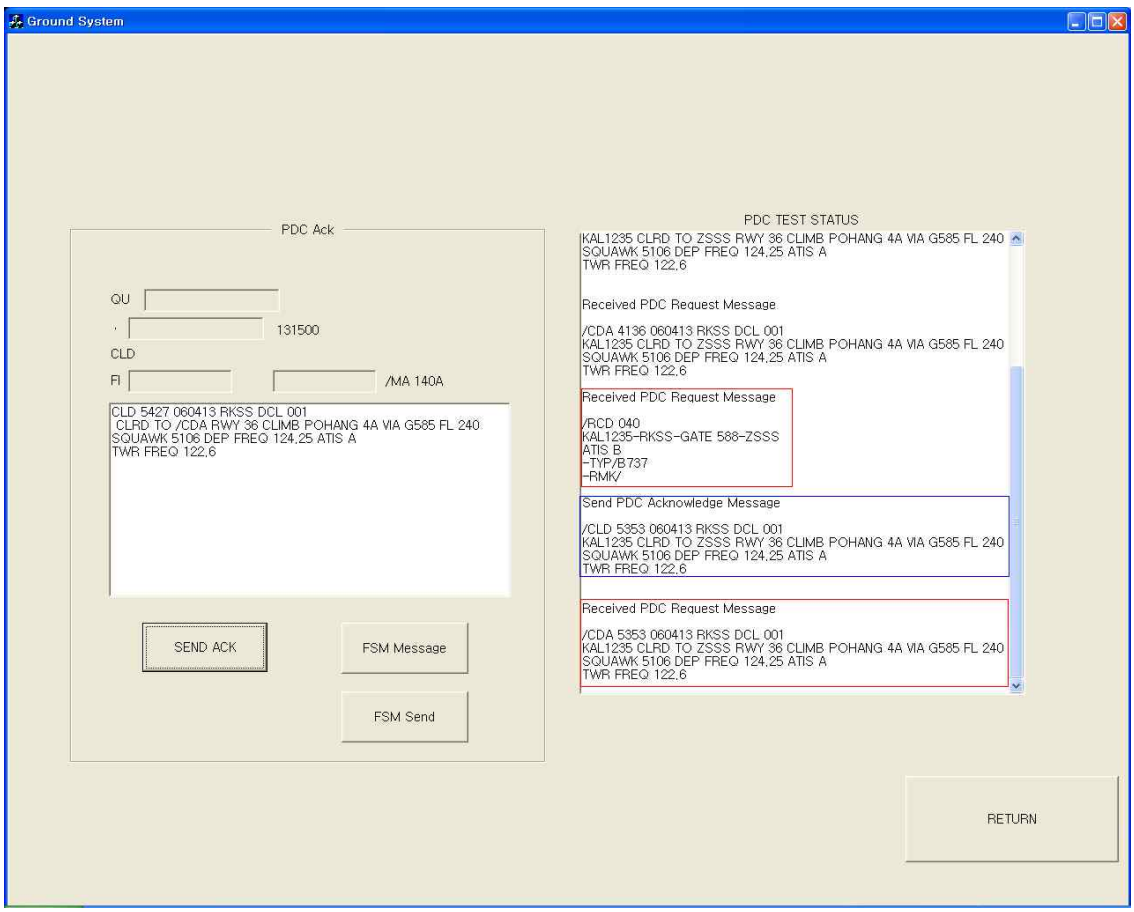
<그림 3-7-9-6> 링크상에서 데이터 송수신 상태 확인 결과

```
.HL7757 ---- 1111       04JUN09 0452Z
AUDIT DATA: AOA  127275
04:52:52>UPLINK(GEN), LEN=14
<SOH>2.HL77570_<DEL>G<ETX>


.HL7757 ---- 1111       04JUN09 0453Z
AUDIT DATA: AOA  127275
04:53:01>UPLINK(NAK), LEN=170
<SOH>2.HL7757<NAK>A3H<STX>/RKSS.DC1/CLD 5353 060413 RKSS DCL 001
<CR><LF>KAL1235 CLRD TO ZSSS RWY 36 CLIMB POHANG 4A VIA G585 FL
240<CR><LF>SQUAWK 5106 DEP FREQ 124.25 ATIS A<CR><LF>TWR FREQ 12
2.62B33<ETX>


.HL7757 ---- 1111        04JUN09 0453Z
RKSS DCL 001
CLD 5353 060413 RKSS DCL 001
KAL1235 CLRD TO ZSSS RWY 36 CLIMB POHANG
 4A VIA G585 FL 240
SQUAWK 5106 DEP FREQ 124.25 ATIS A
TWR FREQ 122.6
```

<그림 3-7-9-7> 대한항공기 CLD 수신결과 출력물 스캔자료



<그림 3-7-9-8> 대한항공기 PDC연동시험 시 GAS 시험결과 화면

10. 시험평가 결과 종합

과제를 수행하며 수행되었던 시험은 구성품 시험, 인터페이스 시험, 프로토콜시험, 1단계 지상시험, 2단계지상시험, 환경시험, 비행시험, 공항시설 연동시험, 민항기 연동시험 등이 있다. 이를 통해 확인한 시험결과를 종합하면 <표 3-7-10-1>과 같으며, 여기서 보면 초기 연구계획서 작성시에 요구되었던 정량적인 목표를 달성 하였을 뿐만 아니라 장비 설계시에 목표로 설정하였던 목표도 다 만족함을 알 수 있다. 통신 운용반경과 관련 시험에서는 비행시험을 통해 310Km까지 측정되었으며, 만약에 지상 장애물이 없는 평지에서 더 높은 비행고도로 시험을 수행한다면 200NM까지 통신거리가 나올 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 요구되었던 모든 시험을 완료하였고, 이를 통해 국내 개발된 VDL M2 데이터링크 통신시스템이 우수한 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있고 본 과제가 성공적으로 수행되었던 것으로 판단된다.

<표 3-7-10-1> 개발목표 대비 시험결과 종합

항 목	국제표준	개발 목표		시험결과	적용규격
		연구계획서	설계목표		
사용주파수	118~137	118~137	←	←	ICAO SARPs
운용반경	-	-	200nm	비행시험:310Km 분석결과:200nm	
비트오율	10^{-3}	-	10^{-3}	FER 0.001@-98dBm 0.12@-100dBm	ICAO SARPs
채널간격(KHz)	25	25	←	←	ICAO SARPs
RF출력(W)	15~30	5~30	15W이상	16W	DO-224B
수신감도(dBm)	-98	-98이하	←	-100	DO-224B
수신신호범위 (Dynamic Range)	-	-	-10~-98dBm	-6~-100dBm	
변복조방식	D8PSK	D8PSK	←	←	ICAO SARPs
전송률(kbps)	31.5	31.5	←	←	ICAO SARPs
다중접속방식	CSMA	CSMA	CSMA (p-persist)	←	ICAO SARPs
운용온도(℃)	-	-	GS : -20~55 AS : -30~55	←	ETSI, DO-160
링크설립	기능보유	-	기능보유	←	DO-224B
핸드오프	기능보유	-	기능보유	←	DO-224B
AFN	기능보유	-	기능보유	←	ARINC 623
CPDLC	기능보유	-	기능보유	←	ICAO Doc9694
ADS-C	기능보유	-	기능보유	←	ICAO Doc9694
공항시설 호환성	-	-	호환가능	←	-
민항기 호환성	-	-	호환가능	←	-

해외장비와 국내 개발장비에 대한 성능을 비교해 보면 <표 3-7-10-2>와 <표 3-7-10-3>과 같이 종합할 수 있다. 여기서 살펴보면 해외장비는 과거 오래전에 개발하여 운용하고 있으면서 계속적으로 새로운 기술을 추가 성능개선을 추진한 관계로 VDL Mode 2 기술뿐 만 아니라 기존 기술인 아날로그 음성통신 및 ACARS 데이터 송수신 기능을 포함하고 있음을 알 수 있다. VDL M2에 대한 성능 만을 비교한다면 국내 개발장비와 해외장비 모두 비슷한 성능을 가지고 있어 어떤 장비가 우수하다고 판단하기 어려울 정도로 대동소이함을 알 수 있다.

<표 3-7-10-2> 탑재송수신기에 대한 해외장비와의 성능비교

항 목	단위	국내개발	해외장비1	해외장비2	비 고
제조사/모델	-	-	HoneyWell/ RTA-44D	SELEX/ SVD-750	
주파수	MHz	118 ~137	118~136.922	108~156	
지원프로토콜	-	VDL Mode2	Voice Mode 0, A, 2	Voice Mode 0, A, 2, 4	
운용반경	nm	200이상	200 이상	200 이상	
비트오율	-	10^{-3}BER	10^{-3}BER	10^{-3}BER	
채널간격	KHz	25	25	25	
RF 출력	W	16W	Voice : 25Watt Mode2 : 17.5Watt	Voice : 25Watt Mode2 : 15Watt	
수신감도	dBm	-100dBm	-98dBm	-98dBm	
수신가능 최대입력전력	dBm	-6~수신감도	-7~수신감도	-7~수신감도	
변복조방식	-	D8PSK	Voice : AM Mode 0, A : DSB-AM/MSK Mode2 : D8PSK	Voice : AM Mode 0,A : DSB-AM/MSK Mode2 : D8PSK Mode4 : D8PSK	
데이터전송률	Kbps	31.5	Mode0, A: 2.4 Mode2 : 31.5	Mode 0,A: 2.4 Mode 2: 31.5 Mode4: 19.2	
운용온도	℃	-30 ~ 55	-30 ~ 55	-40 ~ 70	

<표 3-7-10-3> 지상국에 대한 해외장비와의 성능비교

항 목	단위	국내개발	해외장비1	해외장비2	비 고
제조사/모델	-	-	Telerad/ EM 9000	SELEX/ DTR-100	
주파수	MHz	118 ~137	118~136.975	108~156	
지원프로토콜	-	VDL Mode2	Voice ACARS, M2, M4	ACARS VDL M2, M4	
운용반경	nm	200이상	200 이상	200 이상	
비트오율	-	10^{-3}BER	10^{-3}BER	10^{-3}BER	
채널간격	KHz	25	25	25	
RF 출력	W	16W	5~50Watt	5~50Watt	
수신감도	dBm	-100dBm	-98dBm	-102dBm	
수신가능 최대입력전력	dBm	-6~수신감도	-7~수신감도	-7~수신감도	
변복조방식	-	D8PSK	AM-DSB, AM/MSK, D8PSK, GFSK	Mode 0,A : DSB-AM/MSK Mode2 : D8PSK Mode4 : GFSK	
데이터전송률	Kbps	31.5	ACARS: 2.4 M2: 31.5, M4:19.2	Mode 0,A: 2.4 Mode 2: 31.5 Mode4: 19.2	
운용온도	℃	-20 ~ 55	-20 ~ 55	-20 ~ 55	

제 8 절 지적재산권 조사

지적 재산권 자료 조사는 한국특허정보원에서 제공하는 웹 “KIPRIS”검색엔진을 사용하여 국내 특허실용을 검색하였으면, 해외특허는 미국공개(UO), 미국등록(UP), 유럽공개(EP), PCT(WO), 일본PAJ(JP)에 대한 검색을 수행하였다. 그 결과, 국내에는 VDL mode 2에 대한 시스템적인 특허나 실용실안에 대한 출원/공개/등록은 전무한 것으로 나와 있으며, 일부 VHF 항공 통신용 부품 및 회로에 대한 하드웨어적인 것이 등록되어 있음을 알 수 있었다. 해외특허에서는 VDL과 직접적으로 관련된 특허가 등록되어 있는데, 이는 듀얼 또는 트리플 밴드 적용을 위한 것으로 나타나 있다.

○ 국내 특허/실용 검색 결과

조사용어	검색건수	주요관련건수	출원번호	상태	등록번호	발명의 명칭
항공 항행 VHF	12	7	10-2000-0083439	등록	10-0380112000	위성측위 보정신호의 시각동기 신호 삽입 송·수신 장치
			10-2001-7008244	등록	10-0482929000	근접/편대내 위치결정 충돌 예방 시스템 및 방법
			10-2003-0097200	등록	10-0543378000	선형 보간 ＰＲＣ를 이용한 사용자 위치 측정방법 및선형보간 ＰＲＣ를 이용한 다채널 ＤＧＰＳ 수신기
			10-2006-0037932	등록	10-0771466000	재난 구조용 ＧＰＳ주파수가 130 ｄＢｍ 펄스 폭에 형성된5 ㎓ 밀리미터파 주파수 대역을 이용한 초 광대역주파수확장변조 복합무선통신시스템
			10-2006-0062851	등록	10-0786943000	도플러전방향표지시설 위상검출 및 교정 방법
			10-2006-0107333	등록	10-0793640000	전자해도를 이용한 휴대용 선박 항해 안내 보조단말기 및그 운영 방법
			10-2006-0108263	등록	10-0818021000	도플러전방향표지시설 시뮬레이션 방법
항공 VDL	8	4	10-1998-0006160	등록	10-0538960000	자동종속감시환경하에서의진입관제구항공기개별유도시스템
			10-2005-0014144	공개		표시장치 구동회로
			10-2006-0019187	공개		표시패널 구동장치
			10-2006-7000273	등록	10-0786893000	"스마트-홈"-환경에서의 무선 통신 및 원격 통신을 위한 방법, 통신 시스템 및 원격 통신 핸드셋

조사용어	검색건수	주요관련건수	출원번호	상태	등록번호	발명의 명칭
항공 항행 무선	73	30	10-1997-0709144	등록	10-0416630000	콘트라와운드안테나
			10-2001-0062862	등록	10-0406965000	범지구측위시스템용 안테나 내장형 듀플렉서
			10-2001-7008244	등록	10-0482929000	근접/편대내 위치결정 충돌 예방 시스템 및 방법
			10-2002-0015072	등록	10-0460527000	전자 표지석을 이용한 위치 정보 처리 방법 및 시스템
			10-2002-0034807	공개		ＧＰＳ를 이용한 위치 등록 장치 및 방법
			10-2002-0034808	공개		ＧＰＳ를 이용한 위치 알림 장치 및 방법
			10-2002-0059896	등록	10-0493210000	이동단말을 이용한 네비게이션 시스템에서의 경로안내방법
			10-2002-0079731	등록	10-0520303000	무선통신망을 이용한 위치 정보 측정 시스템 및 그 방법
			10-2003-0042360	등록	10-0492177000	항공 이동체용 비콘의 오동작 방지 회로
			10-2003-7005047	공개		예측 고도 디스플레이 방법 및 장치
			10-2003-7005048	등록	10-0819370000	지형 인식 및 경고 시스템의 오류 경고 감소 및 착륙 접근항행을 위한 방법 및 장치
			10-2004-0004962	등록	10-0578999000	국지 위치 확인 방법, 장치 및 시스템
			10-2004-0043210	등록	10-0629315000	위성위치확인시스템 시간을 이용한 다중 센서 정보 동기화장치 및 방법
			10-2004-0091965	공개		위치정보를 음성으로 알려주기 위한 이동통신 단말기 및방법
			10-2005-0058103	등록	10-0703081000	Ａ－ＧＰＳ를 이용한 위치 정보 제공 단말기, 위치 제공시스템 및 방법
			10-2005-0121745	등록	10-0658979000	항공장애물 자기위치 무선송출장치
			10-2005-7012491	공개		항행 시스템 및 항공 운송 수단 비행 제어 방법
			10-2005-7017792	공개		어드레싱 정보를 이용하여 조회 결과 생성 및 표시
			10-2005-7022000	공개		자동 항행 카고 컨테이너들
			10-2006-0062851	등록	10-0786943000	도플러전방향표지시설 위상검출 및 교정 방법
			10-2006-0098349	등록	10-0780392000	양방향 의사위성을 이용한 동기식 의사위성 정밀항법시스템
			10-2006-0107333	등록	10-0793640000	전자해도를 이용한 휴대용 선박 항해 안내 보조단말기 및그 운영 방법
			10-2006-0108263	등록	10-0818021000	도플러전방향표지시설 시뮬레이션 방법
			10-2006-7001995	공개		지상망의 주변 기지국들의 안테나 방사 패턴들을 변경하여 간섭을 감소시킬 수 있는 시스템들 및 방법들

조사용어	검색건수	주요관련건수	출원번호	상태	등록번호	발명의 명칭
			10-2006-7016469	공개		해상 선박의 제어 시스템을 테스트하는 방법 및 시스템
			10-2006-7025882	공개		그래픽 텍스쳐들의 디스플레이
			10-2007-0012423	등록	10-0822348000	속도 추정 장치
			10-2007-7026117	공개		항공기가 활주로에 착륙하도록 항행하는 방법
			10-2007-7026118	공개		항공기의 활주로의 접근공간의 계산방법

○ 해외 특허/실용실안 검색(미국(UO, UP), 유럽(EP),PCT(WO), 일본 PAJ(JP))

조사용어	검색건수	주요관련건수	국가	공보번호	발명의 명칭
VHF data	6	6	UO	20060049977	Navigation system
			UO	20020004401	Method for enhancing the reliability and efficiency of aeronautical data communications networks using synchronization data transmitted by VHF data link mode 4 aircraft stations
			UO	20020004393	Out-of-band signaling for aeronautical data communications networks using VHF data link mode 4
			EP	1158479	An integrated communications management unit
			UP	07161527	Navigation system
			UP	06721559	Integrated communications management unit and very high frequency data radio
VDL mode	4	4	JP	2007019871	SITE DIVERSITY OPERATION METHOD AND PROGRAM
			WO	2006048525	RADIO-FREQUENCY COMMUNICATION SYSTEM FOR AIRCRAFT
			UO	20020045974	Dual-band radio communications system for aeronautical data communications
			WO	2001089114	METHOD FOR ENHANCING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF AERONAUTICAL DATA COMMUNICATIONS NETWORKING

조사용어	검색건수	주요관련건수	국가	공보번호	발명의 명칭
VHF data	14	14	UO	20030111962	Plasma reactor with spoke antenna having a VHF mode with the spokes in phase
			JP	19960188879	CHANNEL SELECTION CIRCUIT
			WO	19950341337	TRANSCEIVER INTERFACE UNIT FOR AIRCRAFT COMMUNICATION
			JP	19850768188	MIXING CIRCUIT OF TELEVISION TUNER
			JP	19831614088	AGC CIRCUIT OF TELEVISION RECEIVER
			EP	1150438	Dual band receiver
			UP	06667577	Plasma reactor with spoke antenna having a VHF mode with the spokes in phase
			UP	06246866	Dual band receiver
			UP	05920807	ACARS/VHF transceiver interface unit (AVIU)
			UP	05809402	ACARS/VHF transceiver interface unit (AVIU)
			UP	05054117	Tunable UHF filter for switchable VHF/UHF receiver
			UP	04843349	UHF crystal oscillator
			UP	04499495	Switching diplexer for single antenna input television receivers
			UP	04291290	UHF-VHF tuner having damping means to reduce interference in UHF band

○ 특허 상세조사 및 차별화 방안

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	범지구측위시스템용 안테나 내장형 듀플렉서	출원번호/특허번호	10-0406965-0000
출원/발명인	엘지전자 주식회사	출원일/등록일	2003.11.12
기술의 핵심내용	본 발명은 차세대 무선통신에서 사용될 범지구측위시스템(GPS)용 안테나를 듀플렉서와 결합시켜 단말기의 구현시 GPS 안테나 구현을 위한 별도의 공간을 절약할 수 있도록 하여 단말기의 소형화를 달성한 GPS용 안테나 내장형 듀플렉서를 제공하기 위한 것으로, 본 발명은, 무선통신 단말기에서 안테나를 공용하여 송신신호와 수신신호를 간섭없이 처리하기 위한 듀플렉서와; 듀플렉서에 적층형으로 결합된 일체형 마이크로스트립 안테나를 포함하여 이루어지며, 고 유전율을 갖는 듀플렉서와 결합된 일체형 GPS 안테나를 이용함으로써 무선통신용 단말기에서 별도의 GPS 안테나를 사용하지 않고도 서비스를 수행할 수 있으며, 단말기의 소형화 및 제조 단가의 절감에 기여할 수 있다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, GPS 안테나 관련 개발은 본 연구범위 내용이 아님			

구분 (출원/등록)	출원	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	ＧＰＳ를 이용한 위치 등록 장치 및 방법	출원번호/특허번호	10-2002-0034807
출원/발명인	주식회사 팬택앤큐리텔	출원일/등록일	2002.06.21
기술의 핵심내용	본 발명의 ＧＰＳ를 이용한 위치 등록 장치 및 방법은, GPS 수신기를 탑재한 무선 단말기에 등록된 위치 정보를 이용하여, 사용자가 자신의 위치를 알고자 할 때에는 언제나 LCD 또는 스피커를 통하여 위치 정보를 표시하는 ＧＰＳ를 이용한 위치 등록 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다. 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, GPS 수신 기능을 갖는 휴대폰에 있어서, GPS 위성으로부터의 수신된 위치 정보 데이터를 출력하는 GPS 수신기; 상기 GPS 수신기로부터 위치 정보 데이터를 입력받고, 제어 신호를 출력하여 현재의 위치 정보 데이터를 읽어들이며, 상기 현재의 위치 정보 데이터를 영상 신호로 변환하거나, 이를 음성 신호로 변환하는 MSM; 상기 MSM으로부터 입력받은 위치 정보 데이터를 저장하고, 상기 MSM에서 상기 제어 신호를 입력받아 저장된 위치 정보 데이터 중 현재의 위치 정보 데이터를 상기 MSM으로 출력하는 메모리부; 상기 MSM으로부터 입력받은 영상 신호를 표시하는 LCD 표시부; 및 상기 MSM으로부터 입력받은 음성 신호를 표시하는 스피커부를 포함한다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	출원	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	ＧＰＳ를 이용한 위치 알림 장치 및 방법	출원번호/특허번호	10-2002-0034808
출원/발명인	주식회사 팬택앤큐리텔	출원일/등록일	2002.06.21
기술의 핵심내용	본 발명의 ＧＰＳ를 이용한 위치 알림 장치 및 방법은, GPS 수신기를 탑재한 무선 단말기에 등록된 위치 정보를 이용하여, 선택된 위치로 이동시 그 선택된 위치에 근접 여부를 LCD 화면상에 표시하고, 스피커 등을 통하여 이를 알려주는 ＧＰＳ를 이용한 위치 알림 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 휴대폰의 메뉴 기능을 통하여 위치 알림 기능이 선택되면, GPS 방식을 통하여 현재 위치를 입력받는 단계; 목표 지점이 입력되는 단계; 목표 지점이 포함된 지도 데이터가 내부 메모리에 존재하는지 여부를 판단하는 단계; 목표 지점이 포함된 지도 데이터가 메모리에 존재하는 경우에는, 상기 목표 지점이 포함된 지도 데이터 및 위치지정 정보를 통하여 현재 위치로부터 목표 위치까지의 거리 또는 방향을 산출하는 단계; 및 산출된 현재 위치로부터 목표 위치까지의 거리 또는 방향을 표시하는 단계를 포함한다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	무선통신망을 이용한 위치 정보 측정 시스템 및 그 방법	출원번호/특허 번호	10-0520303-0000
출원/발명인	한국전자통신연구원	출원일/등록일	2005.10.04
기술의 핵심내용	본 발명에 의한 이동단말기의 위치측정 시스템 및 그 방법은 안테나 빔의 지향성을 조정하여 무선기지국을 원점으로 하는 이동단말기의 방위각을 측정하는 방향탐지 안테나; 상기 방향탐지 안테나의 동작을 제어하고 제1측정프레임을 상기 안테나를 통하여 상기 이동단말기로 출력하여 상기 방위각과 상기 이동단말기가 응답하는 제2측정프레임을 기초로 상기 이동단말기의 위치를 측정하는 무선기지국; 상기 제1측정프레임에 대응하여 소정의 동작시간후에 상기 제2측정프레임을 상기 안테나로 되쏘는 수단을 구비하는 이동단말기; 측정하고자 하는 이동단말기 정보를 상기 무선기지국에 지령하는 VLR; 상기 측정된 이동단말기의 위치 정보를 저장하는 HLR; 및 상기 무선기지국, VLR, 그리고 HLR을 통신망을 통하여 연결하는 MSC;를 포함하는 것을 특징으로 하며, 종래의 위치측정방법과는 달리 오직 통신망의 기능에 기반하여 정밀하게 이동단말기의 위치를 측정할 수 있다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	예측 고도 디스플레이 방법 및 장치	출원번호/특허 번호	10-2003-7005047
출원/발명인	샌델 애비아닉스 엘엘씨	출원일/등록일	2003.04.10
기술의 핵심내용	본 발명의 구현예는 지형 인식 경고 시스템에서 장애물에 대한 항공기 높이를 제시하기 위한 방법 및 장치를 제공한다. 본 방법은 장애물의 지리적 특징, 항공기로부터 지리적 특징의 측면 거리, 항공기의 높이 및 비행 경로를 제시하는 데이터를 수신하는 단계, 데이터를 사용하여 장애물 위치에서 항공기의 추정 높이를 계산하는 단계, 추정 높이 및 데이터에 기초한 결과 신호를 생성하는 단계, 및 생성된 결과 신호에 기초하여 디스플레이 스크린상에 색상 표시를 디스플레이하는 단계를 포함한다. 본 장치는 항공기 주위의 지형의 지리적 특징에 대한 정보를 제공하는 기구로부터의 인풋뿐만 아니라, 항공기의 높이, 비행 경로 및 위치 측정 기구로부터의 신호에 대한 인풋을 포함한다. 본 장치는 지형에 대한 항공기의 유효 높이를 계산하기 위하여 신호를 채용하는 수단 및 계산 결과를 그래프로 디스플레이하는 스크린 디스플레이를 포함한다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 지상 지도처리 소프트웨어와 관련될 수 있으나, 항공기 고도에 대한 예측은 수행하지 않으므로, 본 개발과 관련한 특허권에 대항되지 않음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	위성위치확인시스템 시간을 이용한 다중 센서 정보 동기화장치 및 방법	출원번호/특허번호	10-0629315-0000
출원/발명인	인하대학교 산학협력단	출원일/등록일	2006.09.21
기술의 핵심내용	본 발명은 다수 개의 센서들을 구비하는 시스템에서 각 센서들로부터 수신되는 정보들을 매핑하는 정보 매핑시스템에 관한 것으로, 특히 매핑시스템에서 각각의 동기시간을 갖는 다수의 센서 정보들을 위성위치확인시스템 시간에 동기화 하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 이러한 본 발명은 위성위치확인시스템 시간을 이용한 다중센서 정보 동기화 장치에 있어서, 인공위성으로부터 시간 정보를 포함하는 위치정보신호를 수신하고, 상기 시간정보를 검출하여 출력하는 위성위치확인시스템 수신기와, 상기 시간정보에 따라 측정된 정보들을 출력하는 복수개의 센서부들과, 상기 시간 정보를 입력받고 상기 센서부들을 제어하여 상기 센서부들 각각의 정보를 동일시간에 입력받는 제어부로 이루어짐을 특징으로 한다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	항공장애물 자기위치 무선송출장치	출원번호/특허번호	10-0658979-0000
출원/발명인	한국항공우주연구원	출원일/등록일	2006.12.12
기술의 핵심내용	본 발명은 항공장애물의 정보를 무선송출 함으로써 가시영역 밖에서도 항공장애물의 인식이 용이한 항공장애물 자기위치 무선송출장치에 관한 것으로, 송신 제어부가 항공장애물의 위치 정보 등을 포함하는 송신 데이터를 무선 송신부를 통해 주기적으로 송신하도록 제어하며, 외부로 송신되는 송신 데이터는 주변 근접 항공기에 장착된 무선 통신장비를 통해 수신되어 항공기의 주변 위치에 고압선이 있음을 인식할 수 있도록 한다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	항행 시스템 및 항공 운송 수단 비행 제어 방법	출원번호/특허번호	10-2005-7012491
출원/발명인	노스랍 그루만 코포레이션	출원일/등록일	2005.07.01
기술의 핵심내용	무인 항공 운송 수단에 대한 항행 시스템으로써, 그 시스템은 전역 위치 결정 시스템 신호를 수신하는 제 1 안테나와, 제 1 안테나에 결합되고, 제 1 간섭 억제 기술을 이용하여 전역 위치 결정 시스템 신호의 간섭을 억제하는 제 1 간섭 억제 유닛과, 제 1 간섭 억제 유닛으로 부터 신호를 수신하는 제 1 항행 유닛과, 전역 위치 결정 시스템 신호를 수신하는 제 2 안테나와, 제 2 안테나에 결합되고, 제 2 간섭 억제 기술을 이용하여 전역 위치 결정 시스템 신호의 간섭을 억제하는 제 2 간섭 억제 유닛, 및 제 2 간섭 억제 유닛으로 부터 신호를 수신하는 제 2 항행 유닛을 포함한다. 그 장치에 의해 실행되는 항공 운송 수단의 비행 제어 방법이 포함된다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	지상망의 주변 기지국들의 안테나 방사 패턴들을 변경하여 간섭을 감소시킬 수 있는 시스템들 및 방법들	출원번호/특허번호	10-2006-7001995
출원/발명인	에이티씨 테크놀로지즈, 엘엘씨.	출원일/등록일	2006.01.27
기술의 핵심내용	무선통신시스템은 지상망 통신가능구역 전체에 걸쳐 무선단말기들을 위한 통신 서비스를 제공하는 복수의 기지국들을 구비한 지상망을 포함할 수 있다. 복수의 기지국들은 지상망 통신가능구역의 내부에 무선단말기들을 위한 통신서비스를 제공하는 내부 기지국들 및 지상망 통신가능구역의 주변부에 있는 무선단말기들을 위한 통신서비스를 제공하는 주변 기지국들을 구비할 수 있다. 주변 기지국들 중의 적어도 하나는 지상망 통신가능구역의 내부로 향하고 있는 송신들을 지상망 통신가능구역의 내부들로부터 멀어지고 있는 송신들보다 큰 전력으로 제공한다. 관련된 방법들 역시 논의되어 있다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*무선*항행
발명의 명칭	속도 추정 장치	출원번호/특허번호	10-0822348-0000
출원/발명인	국방과학연구소	출원일/등록일	2008.04.08
기술의 핵심내용	본 발명에 따른 속도 추정 장치는 도플러 레이더 안테나(10)와; 아날로그-디지털 컨버터 및 신호 처리부가 구비된 신호 정밀 추정부(20)로 구성되며, 상기 신호 처리부에서 무게 중심 방식, 맥클로드 방식, 킨 방식을 통하여, 주파수 또는 각 속도를 추정(필요에 따라 SNR도 추정)함으로써, 정확한 속도의 추정이 가능한 장점이 있다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*항행*VHF
발명의 명칭	위성측위 보정신호의 시각동기 신호 삽입 송·수신 장치	출원번호/특허번호	10-0380112-0000
출원/발명인	한국항공우주연구원	출원일/등록일	2003.04.01
기술의 핵심내용	본 발명은 독자적인 시각정보를 포함하는 위성측위시스템(GPS) 보정신호의 생성과 송신 및 수신에 관한 것으로, GPS 보정(DGPS)신호 생성 및 송·수신에 관한 기존의 방법(MSK(Minimum Shift Keying))에 독자적인 시각정보를 부가하기 위해 ASK(Amplitude Shift Keying) 변조방식을 결합함으로써, 평상시에는 GPS의 이용을 증진시키기며 GPS의 이용이 곤란한 상황(지역적 또는 유사시)에는 대체 항법(시각동기 및 측위) 기능을 구현하고자 하는 것이다. 이러한 본 발명은 GPS 신호를 수신하는 안테나(1)와, 중파에 위성측위보정 정보(4)를 싣는 MSK 변조기(6)와, MSK 변조신호(7)에 시각정보(3)를 싣는 ASK 변조기(8)와, 최종변조(MSK 변조와 ASK 변조)신호(9)를 송출하는 송신기(10)로 송신장치가 이루어지고, 수신 안테나(11)로부터 받은 신호를 기저대역으로 내려주는 디모듈레이터(12)와, 전달 매체의 주파수 성분을 제거하고자 반송신호(carrier)를 발생시키는 장치(13)와, 반송신호가 섞인 신호로부터 원하는 정보 신호만을 선택적으로 걸러주는 대역필터(BPF)와 수신신호의 크기변화를 보정해 주는 자동이득조절장치(AGC)로 구성된 모듈(14)과, 대역필터와 자동이득조절장치를 거친 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜주는 A/D 변환기(15)와, 앞선 신호처리 과정에 의한 신호를 병렬로 복조하여 원하는 위성측위 보정정보와 시각정보를 얻는 DSP 모듈(16)과, 전체적인 시스템 제어 및 외부장치와의 신호연결을 위한 인터페이스 제어장치(17)로 수신장 치가 이루어지는 것으로, DGPS 기능 뿐 아니라, 독자적인 측위시스템의 기능을 할 수 있는 것이다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	항공*항행*VHF
발명의 명칭	재난 구조용 GPS주파수가 130 dBm 펄스 폭에 형성된5 ㎓ 밀리미터파 주파수대역을 이용한 초광대역주파수확장변조 복합무선통신시스템	출원번호/특허번호	10-0771466-0000
출원/발명인	김정선	출원일/등록일	2007.10.24
기술의 핵심내용	본 발명은 송수신하는 전면판과 HDX 주파수확장변조의 태그(RFID)와 접촉하는 배면판을 포함하는 몸통부; 몸통부 머리에 아이리스를 부착시켜 마이크로스트립 패치 안테나의 주파수 전파증폭전송을 지지하는 머리부; 몸통부 전면판의 중앙부분 또는 머리부에 부착되어 긴급구조신호의 송출기능을 가지고 이를 다국어 음성정보 서비스 전환이 가능한 위치기반서비스(LBS); 를 포함하는 것으로서 몸통부와 머리부에 전파전파 확장변조 및 주파수 전파증폭을 형성시키는 재난구조용 GPS주파수가 130 dBm 펄스 폭에 형성된 5 GHz 밀리미터파 주파수대역을 이용한 초 광대역 주파수확장변조 복합무선통신시스템에 관한 것으로서 재난구조용 GPS단말기에서 송신된 출력 130 dBm 펄스 폭의 파장으로부터 야기된 전파전파와 초장기선 전파간섭계 간의 결합방식을 이용하여 주파수가 확장변조되어 5GHz 이상의 초 광대역 주파수대역을 형성시킬 수 있다.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제에 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Data
발명의 명칭	Method for enhancing the reliability and efficiency of aeronautical data communications networks using synchronization data transmitted by VHF data link mode 4 aircraft stations	출원번호/특허번호	20010848541(미국)
출원/발명인	Stephen B. Heppe(UP)	출원일/등록일	2001.05.04
기술의 핵심내용	The present invention uses selected network management data transmitted within VDL/4 RF subnetworks, or information derived from network management data transmitted within VDL/4 subnetworks, to efficiently manage a non-VDL/4 RF subnetwork or set of subnetworks.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, VDL mode 2로 한정			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Data
발명의 명칭	Out-of-band signaling for aeronautical data communications networks using VHF data link mode 4	출원번호/특허번호	20010848536
출원/발명인	Stephen B. Heppe(UP)	출원일/등록일	2001.05.04
기술의 핵심내용	The present invention uses a VDL/4 RF network to support out-of-band signaling for a separate RF network.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, VDL mode 2로 한정			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Data
발명의 명칭	An integrated communications management unit	출원번호/특허번호	2001103125
출원/발명인	Northrop Grumman Corporation(UP)	출원일/등록일	2001.02.09
기술의 핵심내용	A system for air-ground (120) and air-air (122) communications wherein a VHF data radio (204) is coupled to a high-speed bus (304). The VHF data radio complies with the ARINC 716/750 standard and is accessible via the bus using a programmable interface (306). A communications management unit (208) can also be coupled to the high- speed bus, which communicates with the VHF data radio via the bus according to the programmable interface.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, VDL M2 시스템과도 연계되는 사항이나, 현재 우리 시스템에서는 CMU(Communication Management Unit)과 VDR(VHF Data Radio)간 통신은 bus 방식이 아닌 RS-422임. 현재 고속 데이터 전송은 불필요하나, 향후 고속 데이터 처리가 요구된다면 고려되어야 할 사항임.			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Data
발명의 명칭	Navigation system	출원번호/특허번호	07161527
출원/발명인	David C. Vacanti(UP)	출원일/등록일	2007.01.09
기술의 핵심내용	A radar altimeter system with a closed-loop modulation for generating more accurate radar altimeter values. The present invention combines flight safety critical sensors into a common platform to permit autonomous or semi-autonomous landing, enroute navigation and complex precision approaches in all weather conditions. An Inertial Navigation System (INS) circuit board, a radar altimeter circuit board and a Global Navigation Satellite System (GNSS) circuit board are housed in a single chassis. VHF (Very High Frequency) Omni-directional Radio (VOR), Marker Beacon (MB), and VDB (VHF Data Broadcast) receiver circuit boards may also be implemented on circuit boards in the chassis.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제와 해당 없음, radar를 이용한 고도 측정 장비와 관련된 내용으로 보임.			

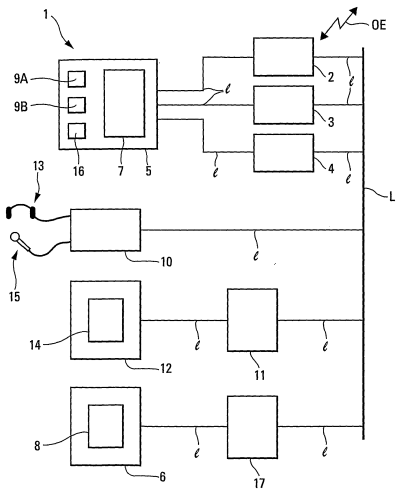
구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Data
발명의 명칭	Integrated communications management unit and very high frequency data radio	출원번호/특허번호	06721559
출원/발명인	Michael J. Kocin(UP)	출원일/등록일	2004.04.13
기술의 핵심내용	A system for air-ground (120) and air-air (122) communications wherein a VHF data radio (204) is coupled to a high-speed bus (304). The VHF data radio complies with the ARINC 716/750 standard and is accessible via the bus using a programmable interface (306). A communications management unit (208) can also be coupled to the high-speed bus, which communicates with the VHF data radio via the bus according to the programmable interface.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, VDL M2 시스템과도 연계되는 사항이나, 현재 우리 시스템에서는 CMU(Communication Management Unit)과 VDR(VHF Data Radio)간 통신은 bus 방식이 아닌 RS-422임. 현재 고속 데이터 전송은 불필요하나, 향후 고속 데이터 처리가 요구된다면 고려되어야 할 사항임.			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VDL Mode
발명의 명칭	SITE DIVERSITY OPERATION METHOD AND PROGRAM	출원번호/특허번호	2005199238
출원/발명인	NEC CORP(JP)	출원일/등록일	2005.07.07
기술의 핵심내용	PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a site diversity operation method capable of operating a VDL mode 3 in an operation form similar to the current analog communication. SOLUTION: In the site diversity operation method for dividing a channel into a plurality of slots by time division multiple access and transmitting sound and data by the slots between a control station 2 and a station 4 to be controlled through a plurality of sites to thereby control the station 4 to be controlled on the basis of a command from the control station 2, the station 4 to be controlled transmits a site change message to the effect that the station 4 to be controlled has changed sites to the control station 2, and the control station 2 side executes a site search step for searching the current site on the basis of the transmitted information. COPYRIGHT: (C)2007,JPO&INPIT		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 운영 방법에 관한 것이므로, 본 장비 개발과는 관련성이 낮음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VDL Mode
발명의 명칭	RADIO-FREQUENCY COMMUNICATION SYSTEM FOR AIRCRAFT	출원번호/특허번호	FR2005002640
출원/발명인	AIRBUS FRANCE(WO)	출원일/등록일	2005.10.24
기술의 핵심내용	The invention relates to a radio-frequency communication system (1), comprising at least one radio-frequency transceiver (2, 3, 4), for transmission and reception according to a VDL mode 3 standard and for reception of status information for a radio-frequency communication of said radio-frequency transceiver (2, 3, 4) and a first man/machine interface (5) which displays at least one set of configuration information for said radio-frequency transceiver device (2, 3, 4). The first man/machine interface (5) also displays some of said status information for the radio-frequency communication for said radio-frequency transceiver device (2, 3, 4).		

관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안

중, VDL M3용으로 제안되어 있음
M2와 비교시 연결 및 도시 방법에 차이를 가져야 함
제시된 특허는 VDL M2 transceiver 및 고주파 통신의 상태 정보 도시에 관한 내용면에서 확인해 보면, 3개의 송수신기를 하나의 단말기로 전시하는 형태이므로, MCDU(Multipurpose Control and Display Unit), RMP(Radio management Panel), ECAM(Electronic Centralized Aircraft Monitoring), AMU(Audio Management Unit), FWC(flight Warning Computer), FWS(Flight warning system), ATSU(Air Traffic Service Unit) 등으로 연결 및 구성되어 있다.

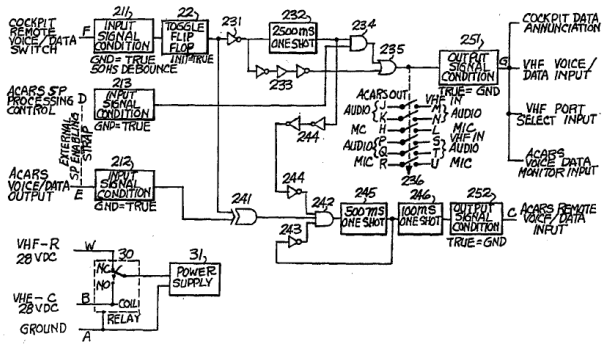


구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VDL Mode
발명의 명칭	Dual-band radio communications system for aeronautical data communications	출원번호/특허번호	20010848550
출원/발명인	StephenHeppe(UP)	출원일/등록일	2001.05.04
기술의 핵심내용	The present invention uses a VDL Mode 4 RF network as the primary transmission path for data transmitted from aircraft to ground stations, and one or more separate non-VDL Mode 4 RF network(s) as the primary transmission path for data transmitted from ground stations to aircraft. The unique characteristics of each network provide for a cost-effective solution to the two-way aeronautical networking problem.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, VDL M2 관련 내용이며, 본 연구에서는 Dual-Band 사용하지 않음.			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VDL Mode
발명의 명칭	METHOD FOR ENHANCING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF AERONAUTICAL DATA COMMUNICATIONS NETWORKING	출원번호/특허번호	US20010015197
출원/발명인	ADSI, INC.(WO)	출원일/등록일	2001.05.11
기술의 핵심내용	The present invention uses selected network management data transmitted within VDL/4 RF subnetworks, or information derived from network management data transmitted within VDL/4 subnetworks, to efficiently manage a separate RF subnetwork or set of subnetworks. The present invention uses a VDL Mode 4 RF network as a primary transmission path for data transmitted from aircraft to ground stations, and one or more separate RF network(s) as a primary transmission path for data transmitted from ground stations to aircraft. The unique characteristics of each network provide for cost-effective two- way aeronautical networking.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 본 과제와 해당 없는 것으로 판단됨			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	Plasma reactor with spoke antenna having a VHF mode with the spokes in phase	출원번호/특허번호	20010025408
출원/발명인	Steven Shannon(UP)	출원일/등록일	2001.12.18
기술의 핵심내용	A plasma reactor for processing a semiconductor workpiece, includes a reactor chamber having a chamber ceiling and a chamber side wall and a workpiece support pedestal within the chamber, a process gas conduit and gas distribution orifices facing the interior of the chamber and coupled to the process gas conduit, a conductive enclosure outside of the chamber and overlying the ceiling and having a conductive side wall with a bottom edge supported on the chamber ceiling and a conductive ceiling supported on a top edge of the conductive side wall, and a conductive post extending parallel with the conductive side wall from a center portion of the conductive ceiling toward the chamber ceiling. An RF power applicator of the reactor includes inner and outer conductive radial spokes. The set of inner conductive spokes extends radially outwardly from and is electrically connected to the conductive post toward the conductive side wall. The set of outer conductive spokes extends radially inwardly toward the conductive post from and is electrically connected to the conductive side wall. In this way, the inner and outer sets of conductive spokes are electrically connected together, the combination of the inner and outer set of spokes with the conductive enclosure having a fundamental resonant frequency inversely proportional to the height of the conductive enclosure and the lengths of the inner and outer set of conductive spokes. An RF source power generator is coupled across the RF power applicator and has an RF frequency corresponding to the fundamental resonant frequency.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, 안테나는 구매품을 사용하고, 그 외의 개발에 있어서도 plasma reactor는 사용되지 않으므로, 본 과제와 연관성이 낮은 것으로 판단됨.			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	CHANNEL SELECTION CIRCUIT	출원번호/특허번호	1994151901
출원/발명인	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD(JP)	출원일/등록일	1994.07.04
기술의 핵심내용	PURPOSE: To reproduce a received video image instantaneously in a mode switching state between a UHF reception mode and a VHF reception mode in the channel selection circuit for a prevailing device in which the entire system is simplified by omitting a last channel memory. CONSTITUTION: A UHF/VHF mode changeover circuit 5 is provided to load a specific value to an up-down counter 1 deciding a tuning voltage of a tuner 3 in response respectively to the mode switching from the UHF reception mode to the VHF reception mode or vice versa and the count of the up-down counter 1 is set so that the tuner 3 is tuned to a frequency in the vicinity of a reception channel of the VHF and the UHF. As a specific reception channel, for example, a reception channel of a lowest frequency in each of the UHF and VHF is selected. COPYRIGHT: (C)1996,JPO		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, VDL M2에서는 UHF 수신은 하지 않으므로, UHF와 VHF간 mode 변경이 필요 없음			

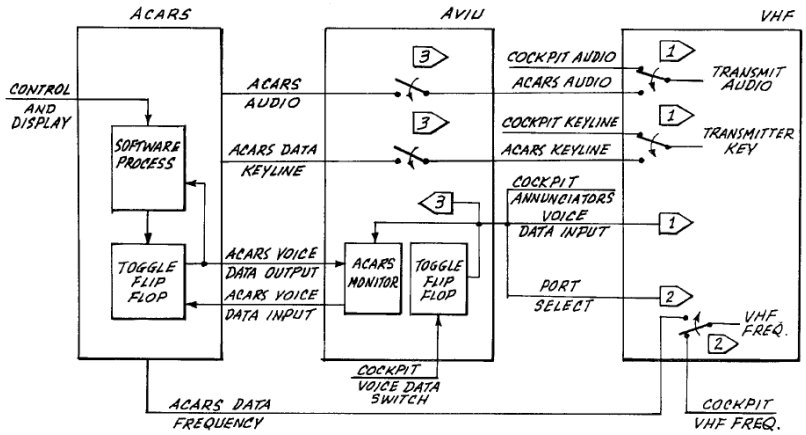
구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	TRANSCEIVER INTERFACE UNIT FOR AIRCRAFT COMMUNICATION	출원번호/특허번호	US19950007415
출원/발명인	THE BOEING COMPANY(WO)	출원일/등록일	1995.06.08
기술의 핵심내용	An Aircraft Communication, Addressing, and Reporting System (ACARS) to VHF transceiver interface unit (AVIU) which allows direct pilot control of the VHF mode (voice or data) and also commands the ACARS into the proper mode.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, 본 연구눈 Transceiver는 VDL M2와만 연관되지 ACARS 장비와의 인터페이스 제공하지 않음 대표도에서 보듯이 본 특허는 ACARS 장비와의 연결에 대한 내용임  			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	MIXING CIRCUIT OF TELEVISION TUNER	출원번호/특허번호	1983184527
출원/발명인	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD(JP)	출원일/등록일	1983.10.04
기술의 핵심내용	To improve cross modulation characteristics and to obtain even gain characteristics in a UHF reception mode by switching the DC bias voltage of the 1st gate for input of high frequency signal of a dual gate field effect transistor between VHF and UHF reception modes. CONSTITUTION: In a VHF reception mode the prescribed voltage is applied to a supply terminal E for gate bias voltage of VHF mode. While a supply terminal A for UHF circuit voltage is set at 0V. Then resistances R5 and R8～R10 are set at proper levels so that the voltage of a gate G1 of a dual gate field effect transistor FETQ is lower than the source voltage. In a UHF reception mode, the prescribed voltage is applied to the terminal A with the terminal E set at 0V. Then the values of resistances R5 and R9 are set properly so that the 1st gate bias voltage VG1S becomes positive.COPYRIGHT: (C)1985,JPO&Japio		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, Dual Band 관련 사항이므로 본 연구와 해당 사항 없음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	AGC CIRCUIT OF TELEVISION RECEIVER	출원번호/특허번호	1982044318
출원/발명인	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD(JP)	출원일/등록일	1982.03.18
기술의 핵심내용	To avoid mis-adjustment, by making a diode conductive with a constant voltage of a tuner at the UHF mode and preventing a current from a UHF AGC voltage set variable resistor to the tuner at this conducting state. CONSTITUTION: One end of a variable resistor R4 is grounded via a resistor R5 and connected to a cathode of a diode D2. A voltage BV obtained at the turner 4 is applied to the anode of the diode D2. The voltage is 12 Volt at the VHF mode and 0 volt at the UHF mode. Since the terminal 5 is 12 Volt at the VHF, a diode D1 is cut off. The VHF AGC voltage is set by adjusting a variable resistor R2. Since the terminal 5 is 0 Volt at the UHF, the diode D1 is conductive. The UHF AGC voltage is set by adjusting the variable resistor R4. In this case, since the diode D2 is cut off, no current flows from the variable resistor R4 to the tuner.COPYRIGHT: (C)1983,JPO&Japio		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, Dual Band 관련 사항이므로 본 연구와 해당 사항 없음			

구분 (출원/공개/등록)	공개	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	Dual band receiver	출원번호/특허 번호	2000108931
출원/발명인	MOTOROLA, INC.(EP)	출원일/등록일	2000.04.27
기술의 핵심내용	A receiver (100) provides dual band features by providing two signal paths (106, 108) off an antenna (102), one for UHF operation (106) and one for VHF operation (108). The two signals paths (106, 108) feed into a single broadband input (124) of a direct conversion receiver (114). The UHF path (106) utilizes UHF front end circuitry (110) while the VHF path (108) is implemented with a loading/isolator circuit (120) and a matching circuit (122). The loading/isolator circuit (120) loads the antenna (102) and isolates UHF signals while the matching circuit (122) provides a match between the loading isolator circuit (120) an the direct conversion recover (114). Selectable matching circuitry (126, 128) and selectable VCO circuitry (132, 134) configures the direct conversion receiver for the UHF or VHF mode of operation.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, Dual Band 관련 사항이므로 본 연구와 해당 사항 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	ACARS/VHF transceiver interface unit (AVIU)	출원번호/특허 번호	05920807
출원/발명인	The Boeing Company(US)	출원일/등록일	1999.07.06
기술의 핵심내용	An Aircraft Communication, Addressing, and Reporting System (ACARS) to VHF transceiver interface unit (AVIU) which allows direct pilot control of the VHF mode (voice or data) and also commands the ACARS into the proper mode.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, 본 연구의 Transceiver는 VDL M2와만 연관되지 ACARS 장비와의 인터페이스 제공하지 않으므로, 연관성이 없어 보이나, 상세한 내용을 확인할 필요는 있음.			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	ACARS/VHF transceiver interface unit (AVIU)	출원번호/특허번호	05809402
출원/발명인	The Boeing Company(US)	출원일/등록일	1998.09.15
기술의 핵심내용	An Aircraft Communication, Addressing, and Reporting System (ACARS) to VHF transceiver interface unit (AVIU) which allows direct pilot control of the VHF mode (voice or data) and also commands the ACARS into the proper mode.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
중, 본 연구의 Transceiver는 VDL M2와만 연관되지 ACARS 장비와의 인터페이스 제공하지 않음 AVIU를 이용한 연결로써 대표도에서 보듯이 본 특허는 ACARS 장비와의 연결에 대한 내용임  			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	Tunable UHF filter for switchable VHF/UHF receiver	출원번호/특허번호	05054117
출원/발명인	Zenith Electronics Corporation(US)	출원일/등록일	1991.10.01
기술의 핵심내용	A tunable/switchable notch filter adapted for use in the front end of a television receiver removes an image frequency on the low side of the UHF passband without degrading desired frequencies. The tunable/switchable notch filter can be switched out when in a VHF mode so as not to degrade VHF performance and switched in for UHF operation for filtering out a difference image frequency which varies with and is a predetermined frequency less than the desired UHF signal.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, Dual Band 관련 사항이므로 본 연구와 해당 사항 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	UHF crystal oscillator	출원번호/특허번호	04843349
출원/발명인	Westinghouse Electric Corp.(US)	출원일/등록일	1989.06.27
기술의 핵심내용	A crystal-controlled oscillator operable at a direct UHF frequency includes an amplifier having a feedback circuit formed from an SC-cut crystal and an impedance network. The impedance network provides an impedance load for the cyrstal, and the values of the individual components forming the impedance network are selected to provide an overall inductive load for the SC-cut crystal. Inductively loading the cyrstal permits the crystal to oscillate at the C mode or UHF frequency mode, and prevents unwanted crystal oscillation at the B mode or VHF mode.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, UHF 주파수 oscillator 관련 사항이고, VHF 모드는 막는것이 목적이므로 본 연구와 해당 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	Switching diplexer for single antenna input television receivers	출원번호/특허번호	04499495
출원/발명인	Zenith Electronics Corporation(US)	출원일/등록일	1985.02.12
기술의 핵심내용	The VHF and UHF tuners of a television receiver are coupled by a switchable diplexing circuit to a single antenna input terminal. The diplexing circuit includes a first electronic switching means responsive to a U/V bandswitch control signal connected between the UHF tuner and the antenna input terminal. A switchable low-pass filter is connected between the VHF tuner and the antenna input terminal, the switchable low-pass filter including a second electronic switching means responsive to the U/V bandswitch control signal for causing the low-pass filter to exhibit a first low-pass frequency response having a cut-off frequency fc in the VHF mode and a second low-pass frequency responsive having a cut-off frequency less then fc in the UHF mode.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, Dual Band 관련 사항이므로 본 연구와 해당 사항 없음			

구분 (출원/공개/등록)	등록	검색어	VHF Mode
발명의 명칭	UHF-VHF tuner having damping means to reduce interference in UHF band	출원번호/특허번호	04291290
출원/발명인	Alps Electric Company, Ltd.	출원일/등록일	1981.09.22
기술의 핵심내용	An electronic tuner capable of selectively receiving the UHF band and high and low channels in the VHF band is described which has a suitable resistance provided across power supply terminals in order to improve the separation between the VHF mode and the UHF mode.		
관련여부(상, 중, 하) 및 차별화 방안			
하, Dual Band 관련 사항이므로 본 연구와 해당 사항 없음			

제 9 절 VDB 프로토콜 구현 연구

지역 위성항법보강시스템(GBAS[4])에서 무결성 정보를 포함한 GNSS[5] 보정정보 및 항공기의 착륙과 관련된 정보를 지상국이 항공기로 방송(Broadcast)하는데 사용되는 데이터 전송수단으로서, VDB(VHF Data Broadcast)가 사용되고 있다. 전송과 직접 관련된 하드웨어 측면에서 항공기와 지상국에 VDB 프로토콜을 지원하는 VHF 대역의 송·수신기가 사용되는데, GBAS 지상국에는 지상용 VDB 송신기(transmiter) 및 신호 모니터링을 위한 지상용 VDB 수신기(receiver)가 설치되고 항공기에는 VDB 수신장치가 탑재된다. 대형항공기의 경우 Localizer, Glideslope과 같은 ILS 기능과 GPS 수신기 등이 포함된 MMR(Multi-Mode Receiver)의 한 모듈로 부가되어 탑재되고 FMS(Flight Management System)와 연동되는 것이 현재 일반적인 구조이다.



<그림 3-9-1-1> GBAS용 항공기탑재장비 MMR (자료: Rockwell Collins사)

본 절에서는 VDL M2 시스템의 VDR과 하드웨어적인 유사성이 있으나, 사용 주파수가 다르고, 실제 프로토콜 측면에서는 VDL M2 기술과 상이점이 있는 VDB 기술과 프로토콜에 관하여 설명하고 향후 활용을 위한 구현 방법에 대해서 기술한다.

4) Ground-Based Augmentation System
5) Global Navigation Satellite System

1. 지역 위성항법보강시스템(GBAS) 기술

가. 항공용 위성항법보강시스템 기술 현황

GNSS 단독 측위의 정확성을 개선하고 측위의 신뢰도(reliability)와 완전성(integrity)을 보장하여 항공항법에 이용하고자 개발된 위성항법보강시스템(GNSS Augmentation System) 기술에는 ABAS(Aircraft Based Augmentation System - 예, RAIM, AAIM), SBAS(Satellite Based Augmentation System - 예, WAAS, EGNOS, MSAS), GBAS(Ground Based Augmentation System - 예, LAAS)가 있다. 또한, 항공용 위성항법보강시스템은 서비스 범위에 따라 지역(Local Area)과 광역(Wide Area) 보강시스템으로 분류가 가능하다. 지역보강시스템은 GBAS로 대변되고 있으며 광역보강시스템은 SBAS(Satellite Based Augmentation System)와 GRAS(Ground Based Regional Augmentation System) 방식으로 구현하고 있다.

지역보강시스템의 범위는 반경 약 50km로서 (현재 23nm의 coverage 보장)로서, 공항을 중심으로 터미널 공역까지 항법서비스를 지원하기 위한 수단이다.

광역보강시스템은 넓은 서비스 영역과 더불어 지역보강시스템의 서비스 성능까지도 보장할 수 있으리라는 예상 하에 높은 비용을 감수하며 추진하여 왔으나, 근래에 들어서는 Category I급 이상의 정밀 이착륙 성능을 보장할 수 없는 것으로 예견되고 있다.

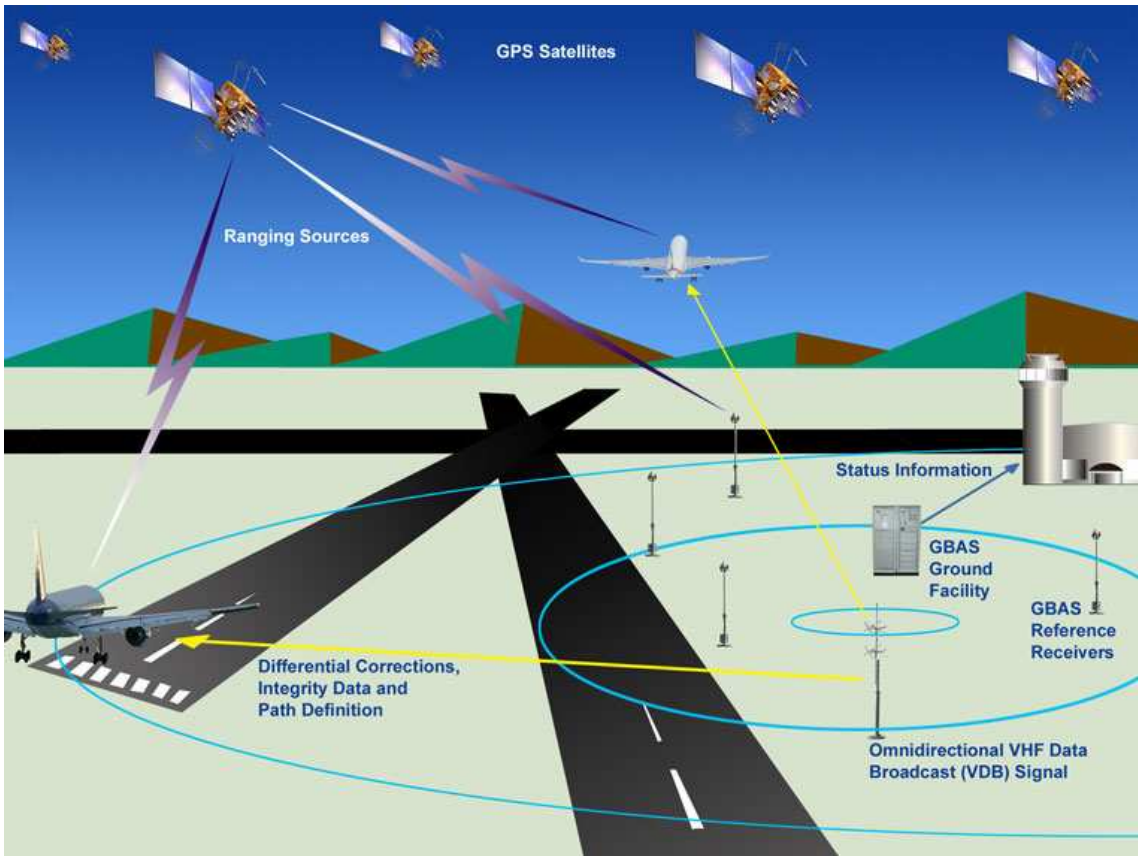
반면, 항공기 탑재 GNSS 수신기 자체에 내장된 보강기능(ABAS: Aircraft Based Augmentation System)으로도 충분히 대양 및 항로 비행의 서비스 유용성을 제공할 수 있고, GPS 현대화와 Galileo 구축 등을 통한 Constellations 개선과 추가 신호 제공을 통해 항공기 자체만의 항법 성능은 더욱 개선될 것으로 예상되어, 민간 항공용으로의 광역보강시스템 활용이 탄력을 잃어가고 있는 상황이다. 국내 연구결과에 의해서도 우리나라 전공역을 커버하는 위성항법보강시스템으로 항공기 탑재장비에 의한 보강시스템(ABAS)과 지역위성항법보강시스템(GBAS) 만으로 충분한 서비스가 제공된다는 연구 결과가 도출된 바 있으며, 최근 호주가 광역보강시스템으로의 GRAS 연구개발을 중단한 결정한 것도 이와 궤를 같이 하는 결과로 판단된다.

GBAS는 최종 정밀접근 및 착륙 단계에서의 운용을 주 목적으로 하지만 터미널 공역과 공항 지상에서도 사용가능한 기술로 미래에도 활용성 및 유용성이 지속

될 것으로 전망되며, 현재 Category I급 시스템의 상용화/인증 개발이 거의 마무리되고 있고, Category II/III급 개발을 위한 기술표준화 작업이 진행되고 있다.

나. 지역 위성항법보강시스템 기술 개요

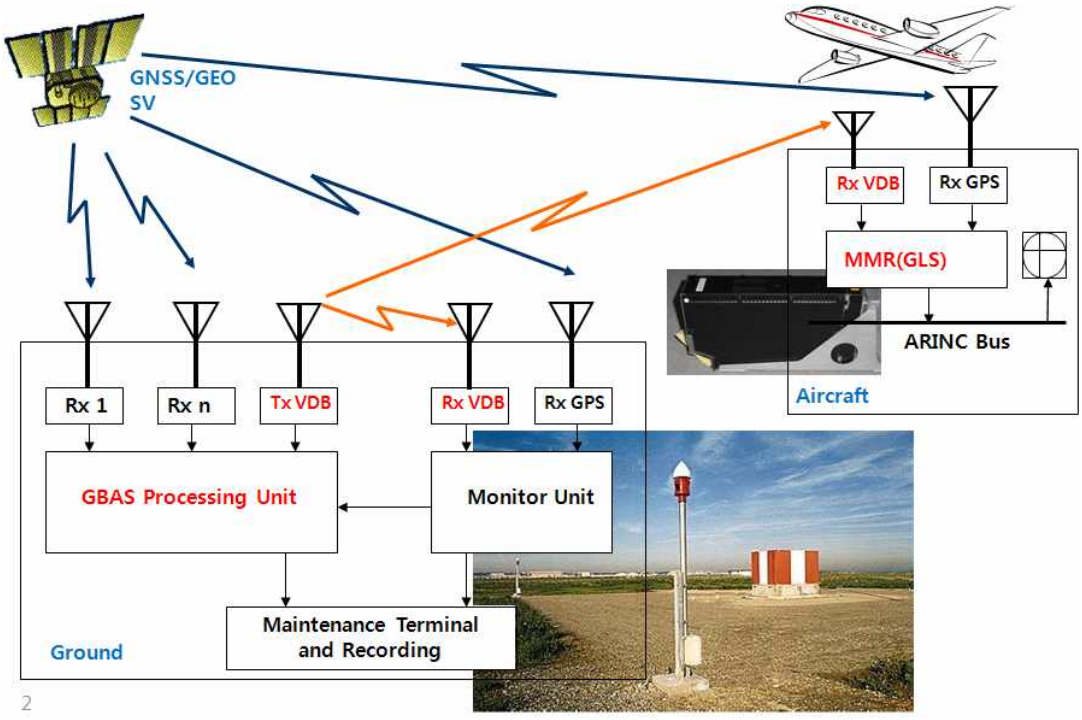
GBAS는 <그림 3-9-1-2>와 같이 위성시스템, 지상시스템, 항공기 탑재시스템으로 구성된다. 지상시스템은 보통 4개의 GNSS 기준국 수신기(GPS Reference Receiver), 기준국 수신기로부터 받은 정보를 처리하여 신호의 무결성을 검증하고 보정정보를 계산/생성하는 프로세서와 생성된 정보를 방송하는 VDB 기능을 포함하는 GBAS 지상국(BAS Ground Facility), VDB용 안테나로 구성된다.



<그림 3-9-1-2> GBAS 서비스 개념도 (자료: 미국 FAA)

항공기의 탑재시스템은 MMR(Multi-Mode Receiver)에 내장된 VDB 수신기나 별도의 VDB 수신기를 통해 지상에서 송신한 정보를 확득하여 MMR 또는 GLS(GNSS Landing System)을 통해 데이터를 처리하여 FMS(Flight

Management System)와 연동하거나 계산된 유도정보를 계기 등을 통해 조종사에게 제공한다.



<그림 3-9-1-3> GBAS 시스템 구성도

GBAS Cat-I 지상시스템은 기준국 수신기로부터 전달된 GPS L1 신호의 반송파 위상(carrier phase)을 이용하여 스무딩(smoothing)된 의사거리(pseudorange)의 보정치를 다음과 같은 과정을 통해 결정한다.

위성시계 오차의 추정치 Δtsv는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta t_{SV-GPS} = \alpha_{f0} + \alpha_{f1}(t - t_{OC}) + \alpha_{f1}(t - t_{OC})^2 + \Delta t_r - T_{GD} \quad (3\text{-}9\text{-}1)$$

수식 (3-9-1-1)에 필요한 정보는 GPS 서브프레임(subframe)으로부터 획득한다. 각 기준국 수신기(j)로부터 의사거리 측정치(i)는 다음과 같은 필터를 사용하여 스무딩 된다.

$$P_{CSC_n}(i,j) = \alpha P + (1-\alpha)\left(P_{CSC_n} + \frac{\lambda}{2\pi}(\phi_n - \phi_{n-1})\right) \quad (3\text{-}9\text{-}2)$$

여기서, PCSC는 스무딩된 의사거리, P는 원(raw) 의사거리 측정치, λ는 L1 신호의 파장, Φ는 반송파 위상, α는 필터의 가산 함수(weighting function)로 샘플링 인터벌(T)와 같으며 보통 100을 사용한다.

반송파 위상으로 스무딩되고 위성신호 오차를 보정한 의사거리 보정치는 다음과 같이 계산된다.

$$PRC_{CSC}(i,j) = R(i,j) - P_{CSC_n}(i,j) - \left(C \times \Delta t_{SV-GPS}(i)\right) \tag{3-9-3}$$

각 기준국 수신기의 시계 오차 조정치는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta t_j = \sum_{i \in S_c} k_i \times PRC_{CSC}(i,j) \qquad \sum_{i=1}^{N_c} K_i = 1 \tag{3-9-4}$$

여기서, S_c는 모든 기준국 수신기에 의해 트랙된 유효한 위성의 집합, N_c는 Sc 원소의 개수, k_i는 수식(3-9-1-4)의 두 번째 부분을 만족하는 weighting factor에 해당된다.

반송파 스무딩되고 수신기 시계오차가 조정된 의사거리 보정치 PRC_{SCA}는 다음 식과 같다.

$$PRC_{SCA}(i,j) \equiv PRC_{CSC}(i,j) - \Delta t_j \tag{3-9-5}$$

최종적으로 전송되는 의사거리 보정치는 다음과 같이 계산된다.

$$PRC_{TX}(i) \equiv \frac{1}{M(i)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in S_i}}^{M(j)} PRC_{SCA}(i,j) \tag{3-9-6}$$

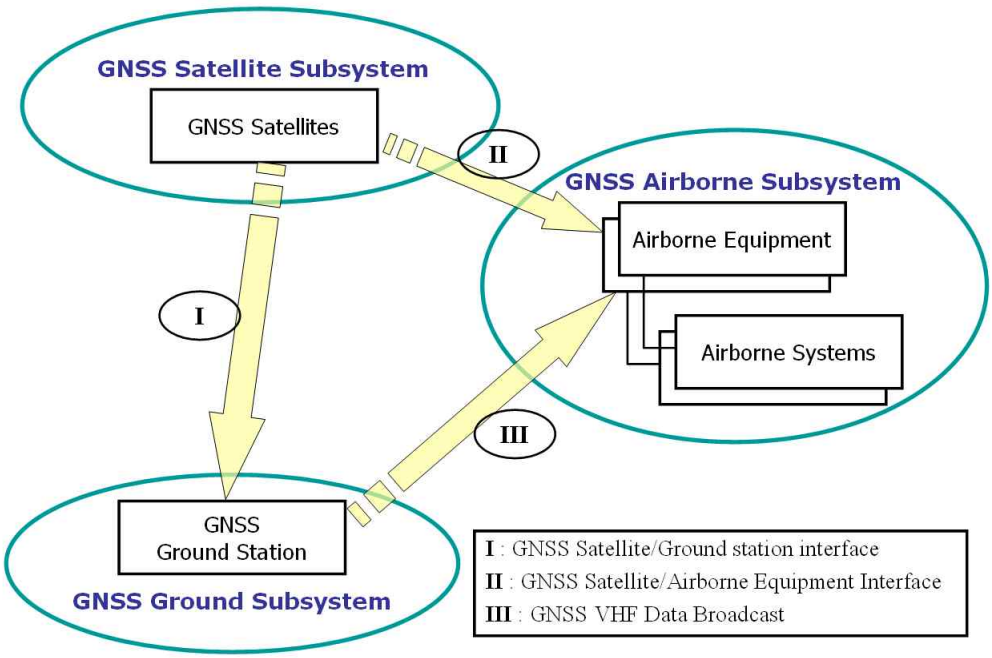
여기서, M(i)는 위성 i에 대해 유효한 PRC를 생성하는 유효 수신기 개수, S_i는 위성 i에 대해 유효한 측정치를 갖는 기준국 수신기의 집합이다.

GBAS 시스템 보정정보는 108.0~117.975MHz 주파수 대역의 VDB (VHF Data Broadcast) 장치를 이용하여 사용자에게 전송된다. 또한 GBAS는 활주로로 이어지

는 최종접근경로(Final Approach Segment)에 정보도 함께 방송한다. GBAS는 ILS와 같은 100㎒대의 VHF 대역의 주파수를 사용하고 있지만, ILS가 하나의 활주로에 하나의 접근만을 유도할 수 있는 반면 GBAS는 한 활주로에 대해 이론상으로 192개의 접근을 유도할 수 있다. GBAS는 현존하는 ILS에 비해 대폭 향상된 운용 유연성(operational flexibility)을 제공할 수 있다.

다. GBAS 시스템 인터페이스

GBAS 시스템은 그림 <3-9-1-3>과 같이 세 구성요소 간의 인터페이스를 고려해야 한다.



<그림 3-9-1-3> GBAS Sigal-in-Space 인터페이스 개요도

Ⅰ: GNSS 위성시스템에서 지상 시스템으로 전송되는 항법신호

Ⅱ: GNSS 위성시스템에서 항공기 시스템으로 전송되는 항법신호

Ⅲ: 지상 시스템에서 항공기 시스템으로 전송하는 VDB

Ⅰ, Ⅱ는 GNSS 위성과의 Ranging interface로 정의된다. 쉽게 설명하면, GNSS

위성과 사용자의 GNSS 수신기(GPS 수신기) 간 인터페이스이다. 이 인터페이스에 대한 정의는 ICD-GPS-200C, 'Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces'와 RTCA/DO-229 WAAS Signal Specification에 명시되어 있으며 GNSS 위성의 신호 특성과 성능을 정의하고 있다.

Ⅲ은 GBAS 지상국(Ground Station)과 항공기 장비 간의 인터페이스이며 VHF Data Broadcast (VDB) 로 연결된다. ICAO SARPs인 부속서(Annex) 10 Vol I과 RTCA/DO-246C ICD에서는 VDB의 물리계층(Physical layer)과 응용 데이터 계층(Application data layer)이 정의되어 있다. 물리계층에는 전송 대역 및 변조 방식에 대한 규격이 포함되고 응용 데이터 계층에는 차분 보정 정보(differential correction information), 무결성 데이터(integrity data), 최종접근경로(Final Approach Segment) 정의 데이터, 지상국 위치 데이터와 같은 정보들이 포함된다.

2. VDB 프로토콜 구조

GBAS에서 VDB는 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식이다. VDB는 ICAO 문서 AMCP/3-R/8A, 'VHF Digital Link Manual'에 설명된 ISO 스택 프로토콜(Stack Protocol)의 물리계층 특성과 동일하게 설계되었다. 그러므로 VDB용 무선장치의 물리계측 특성은 VDL 장비의 그것과 거의 동일하다. 하지만, VDB의 데이터링크 계층은 VDL Mode 2와는 다르다. 데이터 방송의 정의에는 데이터 방송의 특성과 데이터의 정의, 방송의 타이밍, 메시지 형식, RF 신호 형식을 포함하고 있다. 아래에서 VDB의 주요 특징과 프로토콜 구성을 기술하였다.

가. RF 특성

(1) 심볼 전송율 (Symbol Rate)

GBAS 데이터 방송의 전송률(Symbol Rate)은 10,500 symbol/sec ±0.005%이다. 각 심볼은 8개의 states (3 bits) 중 하나로 정의되고 비트 전송률로는 31,500 bits/sec에 해당된다. 이는 VDL M2의 경우와 동일하다.

(2) 방사 지시자 (Emission Designator)

미 연방통신위원회(FCC) 규정에 따르면 VDB 변조 기법의 방사 지시자

(Emission Designator)는 14K0G7DET이다.

(3) 신호장의 세기 (Field Strength)

FAA의 GBAS 신호의 세기는 신호도달범위 내에서 수평으로는 최소 215 microvolts/meter부터 최대 0.350volts/meter, 수직으로는 최소 136 microvolts/meter부터 최대 0.221volts/meter이다.

VDB 신호 세기는 VDB 메시지의 training sequence에 동기화 및 ambiguity resolution segment 기간에 평균값으로 측정된다.

※주 1. RTCA/DO-245B에서는 링크 버짓(budget)에 대한 보다 상세한 정보를 제공하고 있다.

2. VDB 방송 출력은 다른 많은 제약 요소들에 의해 영향을 받는다. 제약 요소에는 주변 시스템으로의 인접/동일 채널 간섭, VDB 수신기 민감도(sensitivity) 등이 포함된다. 링크 budget 값은 최소 신호장 세기의 경우 전송 안테나로부터 23 nm 거리에서, 최대 신호장 세기의 경우 200m 거리에서 계산된다.

◈ GBAS/H와 GBAS/E

ICAO 부속서(Annex) 10의 GBAS 관련 SARPs에서는 수평으로 극화된 신호(horizontally polarized signal)만을 전송하는 지상국을 허용하고 있으며, 전술한 수평 신호장 세기 요구조건을 만족해야 한다. 수평으로 극화된 신호만을 방송하는 지상 시설을 GBAS/H 등급 시설이라 한다. 반면 타원으로 극화된 신호(elliptically polarized signal)를 방송하는 지상 시설을 GBAS/E 등급 시설로 분류한다. ICAO SARPs에서는 가능하면 타원으로 극화된 신호를 방송할 것을 권장하고 있다.

(4) 스펙트럼의 특성

○ 반송파 주파수(Carrier Frequencies)

- 시스템은 108.000㎒~117.975㎒ 범위에 포함되어 있는 25㎑ 폭의 반송주

파수 상에서 작동 가능하도록 정의된다.

- ICAO 부속서 10에는 반송파 중심주파수가 25㎑ 간격으로 108.025㎒~117.950㎒ 범위로 할당 되도록 규정되어 있다.

- VDL M2의 경우 이 대역의 바로 상위인 118㎒~137㎒의 주파수 대역을 사용하도록 되어 있다.

○ 불요 방사(Unwanted Emissions)

- 스퓨어리스 방사(Spurious emission)와 대역 외 방사(out-of-band emission)를 포함하는 불요 방사(unwanted emission)에 관련된 사항은 <표 3-9-2-1>의 기준을 따르도록 정의되어 있다.

<표 3-9-2-1> 불요 방사(Unwanted emission) 기준

Frequency	Relative unwanted emissions level over a 25kHz band	Maximum unwanted emission level
9kHz ~ 150kHz	-93 dBc	-55 dBm / 1kHz
150kHz ~ 30MHz	-103 dBc	-55 dBm / 10kHz
30MHz ~ 106.125MHz	-115 dBc	-57 dBm / 100kHz
106.425 MHz	-113 dBc	-55 dBm / 100kHz
107.225 MHz	-105 dBc	-47 dBm / 100kHz
107.625 MHz	-101.5 dBc	-53.5 dBm / 10kHz
107.825 MHz	-88.5 dBc	-50.5 dBm / 10kHz
107.925 MHz	-74 dBc	-36 dBm / 1kHz
107.975 MHz	-65 dBc	-27 dBm / 1kHz
118.000 MHz	-65 dBc	-27 dBm / 1kHz
118.050 MHz	-74 dBc	-36 dBm / 1kHz
118.150 MHz	-88.5 dBc	-40.5 dBm / 10kHz
118.350 MHz	-101.5 dBc	-53.5 dBm / 10kHz
118.750 MHz	-105 dBc	-47 dBm / 100kHz
119.550 MHz	-113 dBc	-55 dBm / 100kHz
119.850MHz ~ 1GHz	-115 dBc	-57 dBm / 100kHz
1GHz ~1.7GHz	-115 dBc	-47 dBm / 1MHz

○ 인접 채널 방사(Adjacent Channel Emissions)

- i번째 인접 채널의 25kHz 대역 중심에서 측정하였을 때 모든 운용 환경에서의 전송 중 출력은 <표 3-9-2-2>에 정리된 값을 초과하지 않아야 한다.

<표 3-9-2-2> 인접한 채널에서 전송되는 신호의 출력

인접 채널 #	채널 오프셋 (kHz)	Relative Power (상대 출력)	Maximum Power (최대 출력)
1st	25 kHz	-40 dBc	12 dBm
2nd	50 kHz	-65 dBc	-13 dBm
4th	100 kHz	-74 dBc	-22 dBm
8th	200 kHz	-88.5 dBc	-36.5 dBm
16th	400 kHz	-101.5 dBc	-49.5 dBm
32th	800 kHz	-105 dBc	-53 dBm
64th	1600 kHz	-113 dBc	-61 dBm
76th 이상	≧1900 kHz	-115 dBc	-63 dBm

(5) 변조 (Modulation)

3개의 연속된 비트로 이루어진 이진 데이터는 하나의 심볼을 이룬다. 각각의 심볼은 <표 3-9-2-3>에 나타난 바와 같이 D8PSK (Differentially 8 Phase Shift Keyed) 방식의 $\Delta\phi_k$ (carrier phase shift)로 변조된다.

k번째 심볼(ϕ_k)의 반송파 위상은 다음 식으로 주어진다.

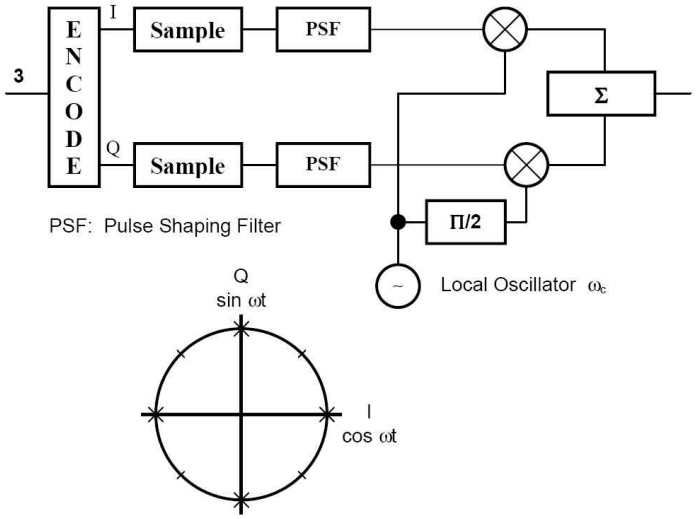
$$\phi_k = \phi_{k-1} + \Delta\phi_k \qquad (3\text{-}9\text{-}7)$$

전송 신호는 $H\left(e^{j(2\pi ft+\phi(t))}\right)$가 되며 H()는 $\alpha = 0.6$인 raised cosign filer가 된다.

<표 3-9-2-3> 데이터 인코딩(Encoding)

Message Bits (Note)			Symbol Phase Shift
I_{3k-2}	I_{3k-1}	I_{3k}	$\Delta\phi_k$
0	0	0	0
0	0	1	1π/4
0	1	1	2π/4
0	1	0	3π/4
1	1	0	4π/4
1	1	1	5π/4
1	0	1	6π/4
1	0	0	7π/4

※ 주 : I_j란 전송받은 데이터의 j번째 비트라는 뜻이고 $\Delta\phi_k$는 <그림 3-9-2-4>의 I-Q평면에서 시계방향의 회전이다.



<그림 3-9-2-4> D8PSK 방식 데이터 변조기의 예시

○ Pulse Shaping Filters

- 차분 위상 부호화기(differential phase encoder)의 출력은 pulse shaping filter에 의해 필터링되며 그 출력 s(t)는 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} e^{j\phi_k} h(t-kT) \qquad (3\text{-}9\text{-}8)$$

여기에서,

h = the impulse response of the raised cosine filter

t = time

T = duration of each symbol (T=1/10500 second, 대략 95.2μsec)

ϕk = k번째 심볼의 반송파 위상

이 pulse shaping filter는 $\alpha = 0.6$인 raised cosign filer의 complex frequency response가 된다. Base band filter의 주파수 응답 H(f)와 시간 응답 h(t)는 다음과 같다.

$$H(f) = \begin{cases} 1, & 0 \le f < \dfrac{1-\alpha}{2T} \\ \dfrac{1-\sin(\frac{\pi}{2\alpha}(2fT-1))}{2}, & \dfrac{1-\alpha}{2T} \le f \le \dfrac{1+\alpha}{2T} \\ 0, & f > \dfrac{1+\alpha}{2T} \end{cases} \qquad (3\text{-}9\text{-}9)$$

$$h(t) = \frac{\sin(\frac{\pi t}{T})\cos(\frac{\pi \alpha t}{T})}{\frac{\pi t}{T}(1-(\frac{2\alpha t}{T})^2)} \qquad (3\text{-}9\text{-}10)$$

여기에서 f는 채널 중심으로부터의 주파수 옵셋값이다.

○ Error Vector Magnitude

- 전송된 신호의 에러 벡터 크기는 6.5% RMS 이하이어야 한다.

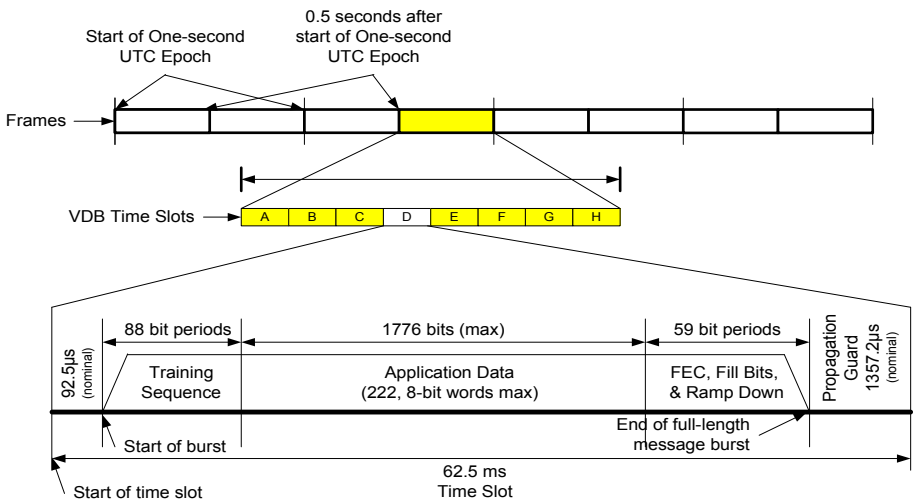
나. Broadcast 타이밍 구조

물리계층의 데이터 전송률은 하나의 GBAS 지상국에서 필요로 하는 것보다 더 많은 용량을 제공한다. TDMA(Time Division Multiple Access) 기법을 사용하여 스펙트럼 효율성을 제고하고 있는데 GBAS 주파수 한 개 할당분에 의해 제공되는 전체 용량을 인접한 지상국 VDB 송신기들에게 분할하여 사용할 수 있게 한다. 아래에서는 VDB에서 사용되는 시분할 접근방법에 대하여 기술한다.

(1) TDMA 타이밍 구조

TDMA(Time Division Multiple Access)의 타이밍 구조는 <그림 3-9-2-5>와 같이 두 가지 레벨의 구조로 되어 있다. 개별 프레임은 500ms의 지속시간을 갖는다. 즉, 1초의 UTC 주기(Epoch)당 두 개의 프레임이 존재하게 된다. 첫 번째 프레임은 UTC 주기의 시작부분에서 시작되고 2번째 프레임은 UTC 주기의 시작 후 0.5초 후에 시작된다. 각 프레임은 62.5ms의 지속시간을 갖는 8개의 VDB 타임 슬롯(A~H)으로 구성된다.

하나의 VDB 타임 슬롯은 독립적인 GBAS 지상 전송국에 할당될 수 있어 처리 용량의 증가를 기대할 수 있다. 각 타임 슬롯 내에, VDB 버스트(burst)가 전송될 수 있다. 버스트는 슬롯 안에서 허용되는 만큼 최대한으로 가변적인 길이를 가질 수 있다.



<그림 3-9-2-5> TDMA 타이밍 구조

(2) Time Slot 초기화 및 최소 사용법

하나의 타임 슬롯 사용하려면, VDB 송신기는 5개의 연속적인 프레임의 해당 타임 슬롯에 버스트를 방송해야 한다. 사용 중인 타임 슬롯에 대해서, VDB 송신기는 매 5개의 연속적인 프레임에서 최소 한 프레임에는 버스트를 방송해야 한다.

(3) VDB 버스트를 위한 Timing Budget

각 VDB 버스트는 62.5 msec의 타임 슬롯 안에 포함된다. 전송률이 10,500 symbols/sec이므로 각 타임 슬롯은 656.25 symbol을 포함하게 된다.

각 버스트의 전송은 타임 슬롯의 시작 후 95.2 ㎲에 시작된다. 송신기의 출력은 버스트의 시작 후 두 심볼 주기(≈190.5 ㎲) 안에 정상 상태(steady-state) 출력 레벨의 90% 수준으로 램프 업(ramp up) 되어야 하고 버스트의 시작 후 다섯 심볼 주기(≈476.2 ㎲) 안에 정상 상태 출력으로 안정화 되어야 한다. 버스트의 최종 정보 심볼의 전송 후 송신기 출력 레벨은 285.7 ㎲ 안에 정상상태 출력의 최소 30 dB 아래로 감소된다. 보통 1357.2 ㎲이나 최대 길이(full length) 메시지를 지닌 각 슬롯 끝단에서 최소 1259 ㎲인 신호전송보호시간(signal propagation guard time)은 단방향(one-way) 전송 거리가 대략 200 NM이 되도록 보호한다. <표 3-9-2-4>는 VDB 버스트를 위한 타이밍 버짓(budget)을 나타내고 있다.

<표 3-9-2-4> 버스트 타이밍

Event	Nominal Event Duration	Nominal % of Steady-State Power
Ramp up	190.5 ㎲	0% to 90%
Transmitter Power Stabilization	285.7 ㎲	90% to 100%
Synchronization & Ambiguity Resolution	1523.8 ㎲	100%
Transmission of Scrambled Data	58761.9 ㎲	100%
Ramp down	285.7 ㎲	100% to 0%

다. 버스트 데이터 내용

각 버스트는 <표 3-9-2-5>와 같은 내용을 포함해야 한다. 최대 버스트의 크기는 1,912 비트(239 바이트) 이다. 통신 구조상 99 비트가 training sequence, 48 비트가 application FEC로 사용되므로 실제 애플리케이션 데이터로는 최대 1,776 비트(222 바이트)가 사용될 수 있다.

<표 3-9-2-5> 버스트 데이터의 내용

구성요소	데이터 내용	비트 수
Power Stabilization	RTCA/DO-246C 2.3.1.1절 참조	15
Synchronization & Ambiguity Resolution	RTCA/DO-264C 2.3.1.2절 참조	48
Scrambled Data:		
Station slot identifier (SSID)	RTCA/DO-264C 2.3.1.3절 참조	3
Transmission Length	RTCA/DO-264C 2.3.1.4절 참조	17
Training Sequence FEC	RTCA/DO-264C 2.3.1.5절 참조	5
Application Data	RTCA/DO-264C 2.3.2절 참조	up to 1776
Application FEC	RTCA/DO-264C 2.3.3절 참조	48
Fill Bits	RTCA/DO-264C 2.1.5절 참조	0 to 2

(1) 애플리케이션 데이터

애플리케이션 데이터의 메시지 블록은 <표 3-9-2-6>과 같이 메시지 블록 헤더, 메시지, 32비트 CRC로 구성되어야 한다.

<표 3-9-2-6> GBAS 메시지 블록 구조

메시지 블록 구성 요소	비트	바이트
Message block header	48	6
Message	up to 1696	up to 212
CRC	32	4

메시지 블록 헤더의 구성은 <표 3-9-2-7>과 같다.

<표 3-9-2-7> 메시지 블록 헤더의 구조

데이터 필드	비트	바이트
Message block identifier	8	1
GBAS ID	24	3
Message type identifier	8	1
Message length	8	1

(2) VDB 메시지 정의

VDB에 의해 전달되어지는 모든 메시지의 종류는 <표 3-9-2-8>과 같다. GBAS 지상 시스템은 전송된 메시지를 확인할 수 있는 장치(VDB receiver)를 통해 방송된 메시지의 이상 유무를 감시할 수 있어야 한다. 현재 GBAS 지상시스템에서 주로 사용되는 메시지는 Type 1, 2, 4 이다.

<표 3-9-2-8> VHF 데이터 방송 메시지

Message Type Identifier	Message Name
0	Spare
1	**Pseudo-range corrections**
2	**GBAS-related data**
3	Reserved for ground based ranging source
4	**Final approach segment (FAS) data**
5	Predicted ranging source availability
6	Reserved
7	Reserved for national applications
8	Reserved for test applications
9 to 255	Spare

(가) Type 1 Message

Type 1 메시지는 개별 GNSS 위성에 대한 차분보정데이터(differential correction data)를 제공하며, 다음 세 가지 정보를 포함한다.

- ○ 메시지 정보(message information) - time of validity, additional message flag, number of measurements and the measurement type
- ○ 저빈도 정보(low-frequency information) - ephemeris decorrelation

parameter, satellite ephemeris CRC and satellite availability information

○ 위성 데이터 측정 블록(satellite data measurement)

각각의 Type 1 메시지는 하나의 위성신호원(satellite ranging source)에 대한 위성궤도비상관변수(ephemeris decorrelation parameter), 위성궤도 CRC, 항법정보 유효지속변수(source availability duration parameters)를 포함하며, 이들은 메시지에서 첫 번째 GNSS 위성신호에 적용해야한다

Type 1 pseudo-range corrections message에 대한 구성은 <표 3-9-2-9>와 같다.

<표 3-9-2-9> Type 1 pseudo-range corrections message

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
Modified Z count	14	0 to 1199.9 s	0.1 s
Additional message flag	2	0 to 3	1
Number of measurements(N)	5	0 to 18	1
Measurement type	3	0 to 7	1
Ephemeris decorrelation parameter (P)	8	0 to 1.275 × 10-3m/m	5×10-6 m/m
Ephemeris CRC	16	-	-
Source availability duration	8	0 to 2540 s	10 s
For N measurement blocks			
Ranging source ID	8	1 to 255	1
Issue of data (IOD)	8	0 to 255	1
Pseudo-range correction (PRC)	16	±327.67 m	0.01 m
Range rate correction (RRC)	16	±32.767 m/s	0.001 m/s
spr_gnd	8	0 to 5.08 m	0.02 m
B1	8	±6.35 m	0.05 m
B2	8	±6.35 m	0.05 m
B3	8	±6.35 m	0.05 m
B4	8	±6.35 m	0.05 m

(나) Type 2 Message

Type 2 메시지는 GBAS에 의해 제공되는 보정이 적용되는 GBAS 기준점의 위치와 기타 GBAS 관련 데이터(GBAS-related data)를 나타낸다.

Type 2 GBAS-related data message에 대한 구성은 <표 3-9-2-10>과 같다.

<표 3-9-2-10> Type 2 GBAS-related data message

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
GBAS reference receivers	2	2 to 4	-
GBAS accuracy designator letter	2	-	-
Spare	1	-	-
GBAS continuity/integrity designator	3	0 to 7	1
Local magnetic variation	11	±180.0°	0.25°
Spare	5	-	-
$\sigma_{vert\_iono\_gradient}$	8	0 to 25.5 × 10^{-6}m/m	0.1×10^{-6}m/m
Refractivity index	8	16 to 781	3
Scale height	8	0 to 25500 m	100 m
Refractivity uncertainty	8	0 to 255	1
Latitude	32	±90.0°	0.0005 arcsec
Longitude	32	±180.0°	0.0005 arcsec
GBAS reference point height	24	±83886.07 m	0.01 m
Additional data block 1 (if provided)			
Reference Station Data Selector	8	0 to 48	1
Maximum use distance (Dmax)	8	2 to 510 km	2 km
Kmd_e_POS,GPS	8	0 to 12.75	0.05
Kmd_e_CAT1,GPS	8	0 to 12.75	0.05
Kmd_e_POS,GLONASS	8	0 to 12.75	0.05
Kmd_e_CAT1,GLONASS	8	0 to 12.75	0.05

(다) Type 4 Message

Type 4 메시지는 하나 혹은 그이상의 FAS 데이터 집합으로 구성된다. Type 4 FAS data message에 대한 구성은 <표 3-9-2-11>과 <표 3-9-2-12)와 같다.

<표 3-9-2-11> Type 4 FAS data message

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
For N data sets			
Data set length	8	2 to 212	1 byte
FAS data block	304	-	-
FAS vertical alert limit/approach status	8	0 to 25.4 m	0.1 m
FAS lateral alert limit/approach status	8	0 to 50.8 m	0.2 m

<표 3-9-2-12> Final approach segment (FAS) data block

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
Operation type	4	0 to 15	1
SBAS provider ID	4	0 to 15	1
Airport ID	32		
Runway number	6	0 to 36	1
Runway letter	2		
Approach performance designator	3	0 to 7	1
Route indicator	5		
Reference path data selector	8	0 to 48	1
Reference path identifier	32		
LTP/FTP latitude	32	±90.0°	0.0005 arcsec
LTP/FTP longitude	32	±180.0°	0.0005 arcsec
LTP/FTP height	16	512.0 to 6041.5 m	0.1 m
DFPAP latitude	24	±1.0°	0.0005 arcsec
DFPAP longitude	24	±1.0°	0.0005 arcsec
Approach TCH	15	0 to 1638.35 m or (0 to 3276.7 ft)	0.05 m or (0.1 ft)
Approach TCH units selector	1		
GPA	16	0 to 90.0°	0.01°
Course width	8	80 to 143.75 m	0.25 m
DLength offset	8	0 to 2032 m	8 m
Final approach segment CRC	32		

3. VDB 상용 장비 인터페이스

본 연구에서는 항공선진화사업의 일환으로 추진 중인 항공용 위성항법시스템 기반기술 개발 과제에서 활용된 TELERAD사의 VDB 수신기(모델: RE9009A)와 VDB 송신기(모델EM9009A)를 사용하여 VDB 통신시험을 위한 테스트베드를 구성하였다. 사용된 TELERAD사의 송·수신기의 주요 특징은 <표 3-9-3-1>, <표 3-9-3-2>와 같다.

<표 3-9-3-1> VDB 수신기 (RE9009A) 주요 특징

항목	내용
주파수 대역	108-117.975 MHz(25 kHz channel) 최저 할당 가능 채널: 108.025 MHz 최고 할당 가능 채널: 117.950 MHz
주파수 안정도	≤1ppm(-20℃ ~ +55℃)
변복조 지시자	14K0G7DET
전원	85-264VAC 21-31VDC AC, DC 자동 스위치오버 지원
소비전력	230 V a.c : 180mA(typ) 24V d.c : 500mA(typ)
감도	-6 dB at ± 10 kHz -80 dB at ± 30 kHz
3tdorder intermodulation	IP3> +5 dBm
Dynamic range	100 dB
Adjacent channel rejection	>50 dB
크기	표준 19“, 1U
운용 온도	between -20℃ and +55℃



<그림 3-9-3-1> VDB 수신기 (RE9009A)

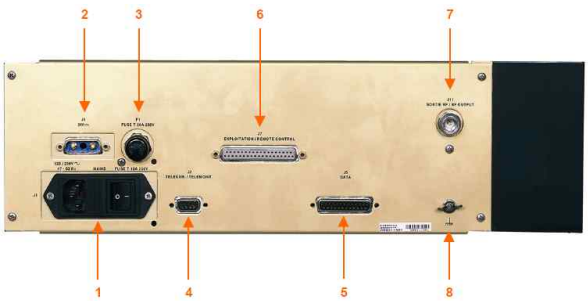
<표 3-9-3-2> VDB 송신기 (EM9009A)

항목		내용
변조방식		D8PSK
데이터전송률		31.5kbits/s
다중접속방식		TDMA
주파수 대역		118.025 - 117.950 MHz
주파수 안정도		≤1 p.p.m (0℃ to 50℃)
채널 간격		25kHz
전원		24V dc (21-31 V), 120/240 V ac ±10% (version A only)
데이터 전송 인터페이스		Electrical interface RS485,
소비전력(80%)	230 V ac	2.2 A (typical),
	24 V dc	10 A (typical),
출력		80 to 10 W carrier (for V dc ≥ 24V dc) adjustable by steps of 0.5 dB on 50 ohms,
크기		표준 19“, 3U
운용 온도		between -20℃ and +55℃



<그림 3-9-3-2> VDB 송신기 (EM9009A)

가. VDB 송신기 인터페이스



<그림 3-9-3-3> VDB 송신기 (EM9009A) 후면 패널부

① MAINS socket - J1: 110A/220V AC 전원

② POWER SUPPLY Socket 24V DC - J6: 24V DC voltage

③ Time-delay fuse 20 A/250V - F1: DC 전원 보호용

④ TELEMONITORING Socket (link RS485) - J2: 원격모니터링 장비 연결을 위한 9 핀 소켓

⑤ DATA Socket - J5: 전송될 데이터를 받는 소켓

⑥ OPERATING Socket - J7: 원격 운용을 위한 명령 수신 소켓

⑦ RF OUTPUT socket - J11: 안테나 연결

⑧ Ground terminal: 접지 단자



<그림 3-9-3-4> VDB 송신기 (EM9009A) 전면 패널부

① ON/OFF Switch: 전원 스위치

② 24V= indicator: 전원 인가 지시 램프

③ MAINS and BATTERY indicators: 전원 소스(AC, 배터리) 표시 램프

④ ALARM indicator: 경보 표시등

⑤ MAINTENANCE Socket (liaison RS232): 정비용 소켓

⑥ TEST push-button and indicators: 자체진단 시험 버튼과 지시 램프

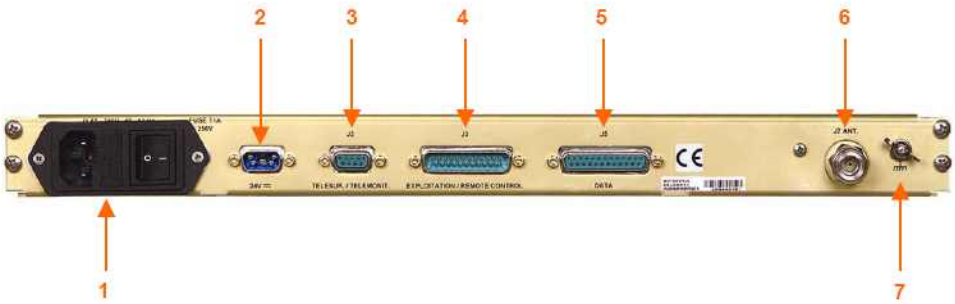
⑦ RF TEST socket (BNC): RF 테스트 용

Output level: about 0dBm/50 ohms.

<표 3-9-3-3> RM9009A 송신기 J5 Data 커넥터 신호 정의

PIN °N	INPUT/ OUTPUT	SIGNAL	SIGNAL MARK	CHARACTERISTICS	N INT
1		Not used			
2	O	TXD1A	BJ	data transmission : RS485 non-inverting output. Level 0/5V.	114
3	I	RXD1A	BI	Data reception : RS485 non-inverting input. Level 0/5V.	115
4	O	RTS1A	BT	Data link : Clear to send RS485 non-inverting input. Level 0/5V.	114
5	I	CTS1A	BK	Data link : Clear to send. RS485 non-inverting input. Level 0/5V	115
6	I	1PPSA	BE	Signal 1 Pulse Per Second RS485 non-inverting input	115
7		Digital ground	GND1	Digital ground of the CTRL PCB linked to general ground.	
8	O	5V digital		+5V digital power supply.	
9		Not used			
10	O	TXD CLK1A	BL	Data connection : transmission clock. RS485 non-inverting output. Level 0/5V.	114
11	I	RXD CLK1A	BM	Data connection : reception clock RS485 non-inverting input. Level 0/5V.	115
12	O	RxD1 Test	BV	Reception channel test output of serial link1	121
13	O	RxD2 Test	CW	Reception channel test output of serial link2	121
14	O	TXD1B	BN	Data transmission RS485 inverting output. Level 0/5V.	114
15	I	RXD1B	BO	Data reception RS485 inverting input. Level 0/5V.	115
16	O	RTS1B	BP	Data connection : Clear to send RS485 inverting output. Level 0/5V.	114
17	I	CTS1B	BQ	Data connection : Clear to send RS485 inverting input. Level 0/5V.	115
18	I	1PPSB	BF	Signal 1 Pulse Per Second RS485 non-inverting input	115
21		Not used			
22	O	TXD CLK1B	BR	Data connection : transmission clock. RS485 inverting output. Level 0/5V.	114
23	I	RXD CLK1B	BS	Data connection : reception clock. RS485 inverting input. Level 0/5V.	115
24	O	TxD1 Test	BU	Transmis. channel test output of serial link 1	121
25	O	TxD2 Test	CV	Transmis. channel test output of serial link 2	121

나. VDB 수신기 인터페이스



<그림 3-9-3-5> VDB 수신기 (RE9009A) 후면 패널부

① J1 - MAINS connector (option RE9009A): 110V/220V AC 전원

② J6 - DC MAINS POWER SUPPLY connector 24V dc: 24V DC 전원.

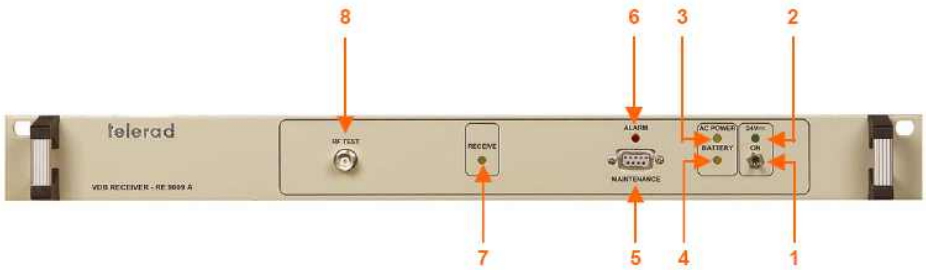
③ J2 - TELEMONITORING connector (JBUS): 원격모니터링 장비 연결을 위한 9핀 소켓

④ J3 - Remote control Socket: discrete I/O.

⑤ J5 - DATA connector: 데이터 커넥터 (VDB processor).

⑥ J7 - ANTENNA connector: Antenna input (N type coaxial connector)

⑦ Ground Terminal: 접지 단자



<그림 3-9-3-6> VDB 수신기 (RE9009A) 후면 패널부

① ON/OFF switch: 전원 스위치

② 24V= indicator: 24V 전원인가 표시

③ AC POWER indicator: AC 전원인가 표시

④ BATTERY indicator: 배터리 연결시 표시

⑤ MAINTENANCE connector: Remote control connector (RS232 interface)

⑥ ALARM indicator: DSP, μC, PLL 오류 경보 or 자체진단 경보 램프.

⑦ Receive indicator: 신호 수신시 점등

⑧ RF TEST connector: RF 테스트용 커넥터

<표 3-9-3-4> RE9009A 수신기 J5 Data 커넥터 신호 정의

PIN N°	INPUT/ OUTPUT	SIGNAL	SIGNAL MARK	CHARACTERISTICS	N° INT#
1		Not used			
2	O	TXD1A	AC	Data link : data transmission Non-inverting output RS485	114
3	I	RXD1A	AD	Data link : data reception. Non-inverting input RS485	115
4	O	RTS1A	AE	Data link : request to emit. Non-inverting output RS485	114
5	I	CTS1A	AF	Data link : ready to emit. Non-inverting input RS485	115
6	I	1PPS A(+)		RS485	115
7		Logic ground	GND	Logic ground linked to general ground.	
8-9		Not used			
10	O	TXD CLK 1A	AG	Data link : Transmission clock. Non-inverting output RS485	114
11	I	RXD CLK 1A	AH	Data link : Reception clock. Non-inverting input RS485	115
12-13		Not used			
14	O	TXD1B	AI	Data link : data transmission. Inverting out put RS 485	114
15	I	RXD1B	AJ	Data link : data reception. Inverting input RS485	115
16	O	STS1B	AK	Data link : request to emit. Inverting output RS485	114
17	I	CTS1B	AL	Data link : ready to emit. Inverting input RS485	115
18	I	1PPS B(-0)		RS485	115
19to 21		Not used			
22	O	TXD CLK1B	AM	Data link : transmission clock. Inverting output RS485	114
23	I	RXD CLK1B	AN	Data link : reception clock. Inverting input RS485	115
24-25		reserved			

다. GBAS 통신제어장치 인터페이스

VDB 장비의 경우 TDMA 타이밍의 기준이 되는GPS 수신기의 1 PPS 신호 연결이 필요하고, 동기 시각에 맞춰 메시지를 생성하여 VDB 장비로 전송하는 제어

장치가 필요하다. 이를 위해 <그림 3-9-3-7>과 같은 별도의 GBAS 통신제어장치를 제작하여 사용하였다.

GBAS 통신제어장치는 지상시스템 및 탑재시스템의 신호처리장치와 VDB 장치 사이의 통신 변환 및 최종 GBAS 메시지의 생성 및 송수신을 담당한다. 또한 GPS 수신기로부터 1pps 신호를 전달받아 VDB 송수신기 및 자신의 동기를 맞춘다. 모드 스위치의 조작을 통해 Type 2, 4 메시지의 송수신 여부를 선택할 수 있다.

GBAS 통신제어장치는 VDB 장비 설정 기능, 데이터 송수신 기능, GBAS 메시지 구성 기능, 동작 상태 알림 기능을 처리하도록 설계되었다.

(1) VDB 장비 설정 기능

데이터 송수신 기능을 수행하기 전에 VDB 장비를 초기화하고 설정하는 부분이다. GBAS 통신제어장치는 데이터 송수신 이전에 VDB1 인터페이스를 통해 VDB 장비로 제어 명령을 보낸다.

(2) Data 송수신 기능

신호처리장치와 VDB 장비 간의 데이터 통신을 처리하는 기능이다. 신호처리장치에서의 보정정보 수신, VDB 장비와의 GBAS 메시지 송수신 기능으로 세부적으로는 다음과 같다.

- GBAS 보정정보 데이터 수신: 신호처리장치로부터 각각 2개의 데이터 패킷을 수신할 수 있으며, 최대 4개의 데이터 패킷을 수신할 수 있다. 이 과정은 500ms 단위로 이루어지며 수신된 데이터 처리 시간을 제외한 시간 범위 내에 수신된 데이터 패킷만을 사용한다.
- GBAS 메시지 데이터 송신: GBAS packetizer에 의해 생성된 GBAS 메시지 데이터를 VDB 송신기(VDB 1)에 전송한다.
- GBAS 메시지 데이터 수신: VDB 수신기(VDB 2)가 보낸 GBAS 메시지 데이터를 수신하고 수신된 정보를 신호처리장치로 전송한다.

(3) GBAS packetizer

신호처리장치로부터 수집된 GBAS 보정정보 데이터를 분석하고 처리하여 GBAS 메시지 패킷으로 구성하는 기능이다.

(4) Display Status

GBAS 통신제어장치의 설정 및 동작에 대한 상태를 Status LED를 통해 표시해 주는 기능이다.

(5) Type selector

기본으로 Type 1 메시지를 구성하고 전송하게 되며, mode switch 1, mode switch 2에 의해 각각 Type 2, Type 4 메시지를 선택적으로 추가 전송할 수 있도록 한다.

(6) 1 PPS selector

GBAS 통신제어장치는 1 pps 동기 신호에 맞추어 전체 시스템이 동기화된다. 이 1 pps 동기신호는 GPS로부터 들어오는 외부 신호가 기준이 되며, 자체 내부에서 점검용으로 발생시키는 신호도 가능하다. 내부에서 발생시키는 1 pps는 외부 연결 없이 동기를 맞추기 위한 것으로 Configuration 스위치 3번의 조작에 의해 선택할 수 있다.

(7) Watchdog Timer

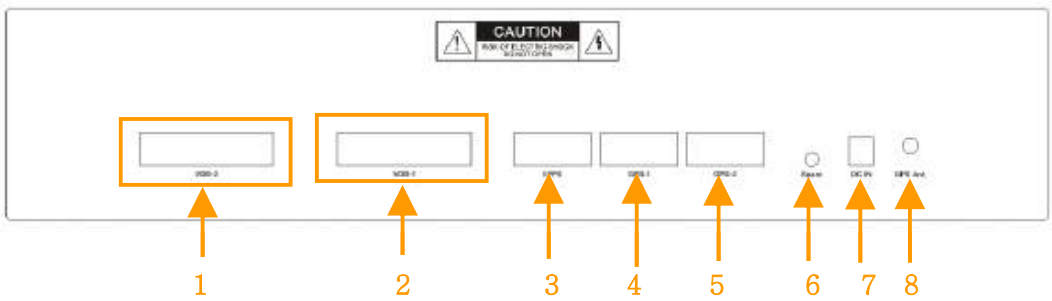
GBAS 통신제어장치는 시스템 동작 상태 불능을 막기 위한 Watchdog Timer 기능을 제공한다.



<그림 3-9-3-7> GBAS 통신제어장치

<표 3-9-3-5> VDB 통신제어장치 성능 사양

품 목	성 능 사 양
GBAS Communication Controller	○ DSP(CPU) : TI社 TMS320C6713-200MHz ○ SDRAM : K4S561632, 32MByte, 133MHz ○ FLASH : AM29LV160, 2MByte, 16bit ○ FPGA : Xilinx社 Spartan-3, XC3S400 ○ UART : 6 ch, ST16C2450 * 3 EA ○ Communication Port : - RS-232C 2 ch, RS-232C(photo-coupler isolation) - RS-485C 2 ch (photo-coupler isolation) ○ Etc - status LED & configuration switch ○ Power : 12W(12V/ 1A)



<그림 3-9-3-8> GBAS 통신제어장치 후면 패널부

① VDB 1 : VDB 송신기와 통신을 하기 위한 포트 (RS-485)

② VDB 2 : VDB 수신기와 통신을 하기 위한 포트 (RS-485)

③ 1PPS : GPS 수신기와 연결 (RS-232)

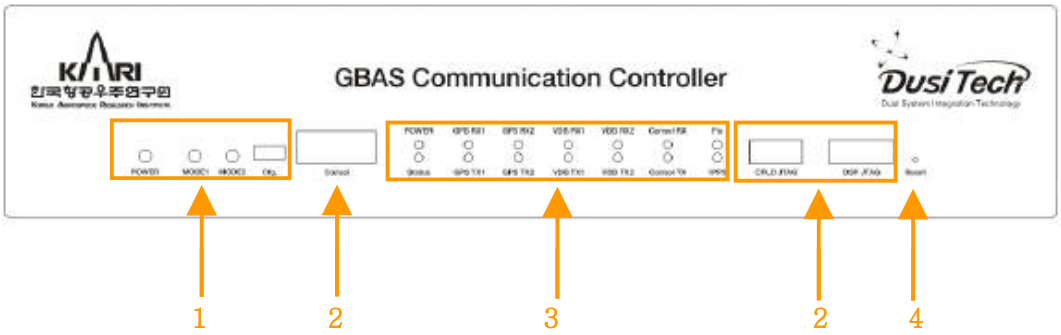
④ GPS1 : SERVER PC 1과 통신을 하기위한 포트 (RS-232)

⑤ GPS2 : SERVER PC 2와 통신을 하기위한 포트 (RS-232)

⑥ Spare : 12V 출력

⑦ DC IN : 12V 입력

⑧ GPS Ant : 안테나 연결 단자



<그림 3-9-3-9> GBAS 통신제어장치 전면 패널부

① FRONT S/W	POWER	전원 스위치
	MODE 1 MODE 2	Message Type Off, Off : Type 1 On, Off : Type 2 Off, On : Type 4
	CFG	1 : Reserved 2 : Reference/Rover 3 : 동기신호 선택 스위치 4 : Watchdog Timer On/Off

② FRONT LED	Power LED_STATUS	전원 입력 확인용
	WS_TXD1 WS_RXD1	서버 PC 1 과 데이터 통신 확인용
	WS_TXD2 WS_RXD2	서버 PC 2와 데이터 통신 확인용
	VDB1_TXD VDB1_RXD	VDB 장비와 데이터 통신 확인용
	VDB2_TXD VDB2_RXD	VDB 장비와 데이터 통신 확인용
	CS_TXD0 CS_RSD0	Consol 송, 수신 확인용
	LED_1PPS LED_FIX	1PPS 송신이 이루어지는지 확인용

③ CONSOL PORT	Consol	디버깅용 포트
	CPLD JTAG	디버깅용 포트
	DSP JTAG	디버깅용 포트

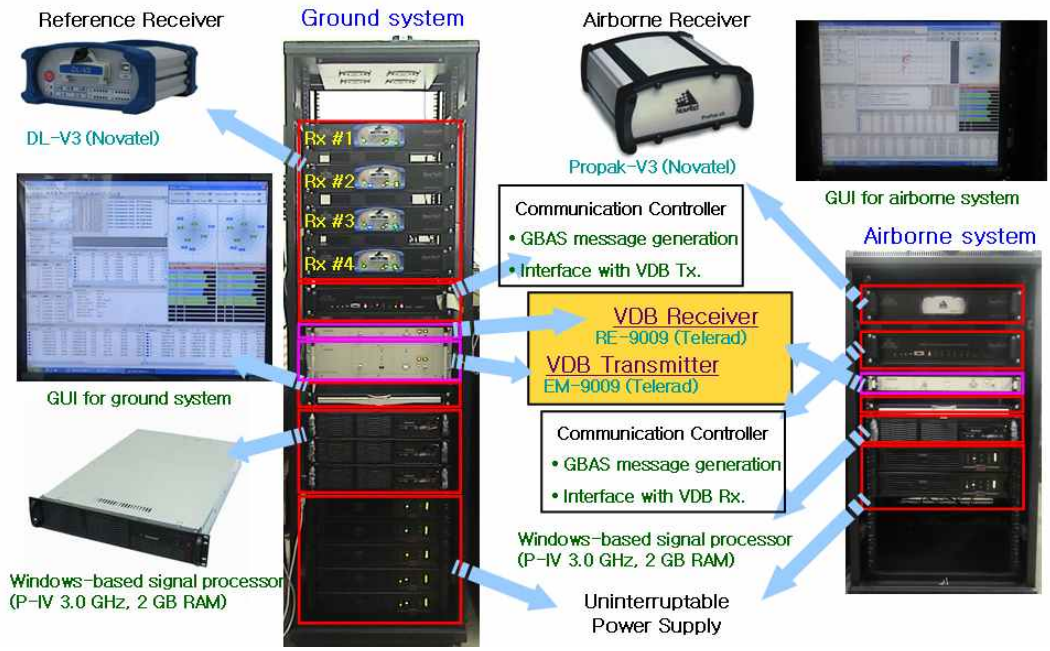
④ Reset	GBAS Controller Reset 스위치

라. VDB 통신 시험을 위한 테스트베드

VDB 통신 시험을 위한 시스템 전체 구성은 그림 <3-9-3-10>과 같다.

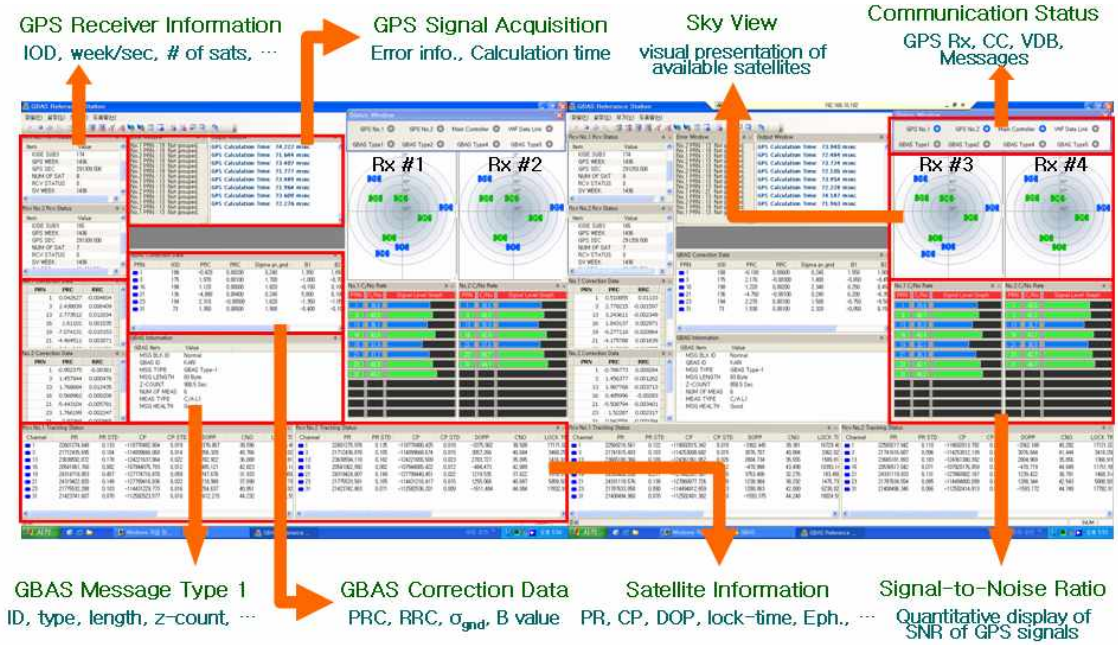
지상시스템은 GPS 기준국 수신기(Reference Receiver) 4대와 VDB 송·수신기, 기준국용 신호처리장치(Signal Processor) 2대, GBAS 통신제어장치, UPS로 구성된다. 기준국용 신호처리장치는 GPS 수신기 각 두 대의 신호를 받기 때문에 Dual로 구성되었다.

탑재시스템은 GPS 기준국 수신기 1대, VDB 수신기 1대, 탑재용 신호처리장치 1대, GBAS 통신제어장치, UPS로 구성된다.

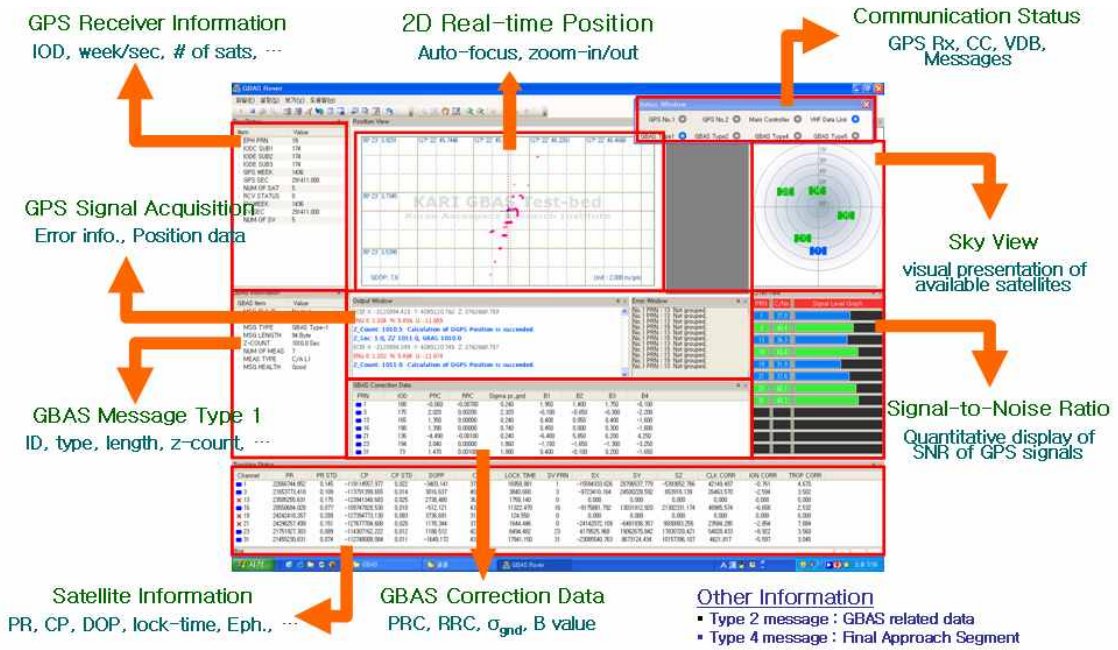


<그림 3-9-3-10> VDB 메시지 전송시험을 위한 시스템 구성도

지상시스템과 탑재시스템의 소프트웨어 환경은 그림 <3-9-3-11>과 <3-9-3-12>과 같다.



<그림 3-9-3-11> 탑재시스템 GUI 환경



<그림 3-9-3-12> 지상시스템 GUI 환경

상기와 같이 장비를 구축한 후 VDB 프로토콜을 구현된 시스템을 활용하여 GBAS Type 1 메시지 전송이 정상적으로 이루어지는 것과, 전송된 보정정보를 활용하여 탑재시스템의 위치정확도가 향상됨을 3차년도에 확인할 수 있었다.

4. VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘 설계

본 항에서는 VDL M2 시스템에서 개발된 VDR을 향후 VDB 장비로 활용하기 위한 방안과 알고리즘 설계 내용을 설명한다.

가. VDL 송수신기 수정 필요 사항

VDL M2용 VDR은 하나의 장비에 송수신기능을 모두 갖고 있으나 VDB용 장비는 VDB 송신기, 수신기가 별도의 전용 장비로 존재해야 한다. 따라서 기본적으로 기존의 VDR 장비의 송신부와 수신기의 기능을 분리하여 별도의 장비로 제작해야 할 것이다. 또한 VDL M2 송수신기와 VDB 장비의 물리계층 구조는 매우 유사하나 VDB 기능 수행을 위해서는 하드웨어 일부의 수정과 VDB 프로토콜 처리를 위한 알고리즘 개발과 소프트웨어 구현이 필요하다.

기 개발된 VDL M2의 VDR 장비는 RF(Radio Frequency), Modem, MAC 영역으로 구성된다. VDL M2 송수신기의 RF 영역은 무선신호를 송수신하는 안테나, 송신용 고출력증폭기, 상하향 주파수변환기로 구성되고, 모뎀(Modem) 영역은 베이스밴드의 신호를 수신하여 D8PSK 변복조를 수행하여 데이터 신호를 복원하거나 데이터 신호를 베이스밴드 신호로 변환한다. MAC 영역은 다중접속기능과 상위 계층과의 인터페이스 및 각종 설정 파라미터를 제공하는 기능을 수행한다.

VDB용 송신기와 수신기로 활용하기 위해서는 개발된 VDL M2 VDR 하드웨어 및 소프트웨어를 다음과 같이 수정하여야 한다.

○ VDL 송수신기의 송신기/수신기 기능 분리

○ RF영역 사용 주파수 대역 변경

- VDB 사용주파수 대역인 108.000~117.975 MHz 범위의 주파수를 처리할 수 있도록 RF 부분 수정 (상하향 주파수 변환기 입출력 주파수 범위 수정)

○ 고출력 증폭기 출력 증강 및 조정 가능하도록 변경

- 기존 VDL 송신기 출력전력은 25W로 고정이나 VDB 송신기는 10~80W 출력까지 지원하도록 수정 (40dBm ~ 49dBm, 1dBm 단위로 조절)

○ D8PSK 변복조기 : 변경 없이 활용

○ FPGA 기반의 MAC 수정 : VDB를 위한 TDMA 지원

- TDMA 알고리즘 지원

  ▪ GPS 1pps 신호를 TDMA Timing 시각 동기 기준으로 사용할 수 있도록 물리적 인터페이스 추가

- 데이터 송수신, 에러 처리, 주파수 설정 기능 제공

  ▪ GBAS 프로세서와 VDB 송신기/수신기와의 통신 프로토콜 구현

나. VDB 송신기/수신기를 위한 통신 프로토콜 설계

전술한 GBAS 표준의 VDB 프로토콜 분석 결과를 바탕으로, VDB 송신기 또는 수신기와 GBAS 프로세서 간에 교환되는 메시지 포맷을 <표 3-9-4-1>과 같이 설계하였다.

<표 3-9-4-1> VDB 통신 프로토콜 포맷 설계

구분	크기 (bytes)	내용
Packet Sync	2	0x00FF
Message ID	1	메시지 형식 정의
Message Length	1	Application data 필드의 길이(단위: 바이트)
Application data (optional)	0~255	애플리케이션 데이터
Checksum*	2	16bit additive checksum 적용 (LSB first)

(1) VDB 송신기 메시지 설계

설계된 VDB 송신기의 입력 메시지 포맷은 <표 3-9-4-2>와 같고, 출력 메시지 포맷은 <표 3-9-4-3>과 같다.

<표 3-9-4-2> VDB 송신기 입력 메시지

Message ID	메시지 내용	애플리케이션 데이터 크기 (bytes)	Application Data 형식
0xA1	Transmitter Control	4	1) 송신기 주파수 (low byte) 2) 송신기 주파수 (high byte) 3) 출력 전력 4) TDMA Transmission Slots
0xA3	Transmitter Reset	0	해당 없음 (명령 수신후 송신기 리셋 수행)
0xA6	송신 CAT-I Message	최대 225	1) 예비용 (0x00로 설정) 2) 예비용 (0xFF로 설정) 3) TDMA Transmit Frame/Slot (0-15) 지정 4-225) CAT-I Message

<표 3-9-4-3> VDB 송신기 출력 메시지

Message ID	메시지 내용	애플리케이션 데이터 크기 (bytes)	Application Data 형식
0x55	송신기 상태 정보*	8	1) 송신기 고장 여부 표시 2) 송신 주파수 (low byte) 3) 송신 주파수 (high byte) 4) TDMA Transmission Slots 5) 출력 전력 설정치 6-8) 상세 BIT 결과
0x99	Command Acknowledgment	1	1) Command Acknowledgement
* 송신기 상태 메시지는 0.5초마다 송신기로부터 생성되도록 설계			

애플리케이션 데이터에서 송신기의 송신 주파수는 100MHz를 차감한 주파수로 kHz 단위로 표시한다(예를 들어 110.500MHz의 경우라면 110.500MHz - 100MHz = 10,500kHz).

출력 전력 레벨은 dBm으로 표시하며, 다음과 같이 계산한다.

출력 전력 설정치 = (RF Power x 10) - 300

이 계산식에 따르면 출력 전력 설정치는 100에서 190 범위(5단위)이며 각각 40dBm에서 49dBm을 나타낸다(해상도는 0.5 dBm).

GBAS 규격에 의거, TDMA Transmission Slots은 A에서 H까지 지원해야 한다. 데이터는 8개의 슬롯 중 어느 것이나 전송에 이용될 수 있다. 애플리케이션 데이터의 TDMA Transmission Slots 바이트는 사용 가능한 슬롯을 설정하는데 사용된다. Most significant bit는 슬롯 A, Least significant bit는 슬롯 H에 해당하도록 설계되었다.

10000000_2 슬롯 A 사용
11000000_2 슬롯 A와 B 사용
10101010_2 슬롯 A, C, E, G 사용

TDMA Transmit Frame/Slot 애플리케이션 데이터 필드는 GPS 1초 시간 기준 안에서 전송 메시지 슬롯 번호(0에서 15)를 나타낸다. 0에서 7은 첫 TDMA 프레임(GPS epoch 시작 시점)의 A-H 슬롯에 해당하며, 8에서 15는 두 번째 TDMA 프레임(GPS epoch + 0.5초)의 A-H 슬롯에 해당된다.

애플리케이션 데이터 필드에서 CAT-I 메시지는 <표 3-9-2-9>와 같이 GBAS SARPs에서 정의된 Cat-I Data 이다.

VDB 송신기 출력 메시지의 애플리케이션 데이터에 송신기의 정상작동 여부를 파악할 수 있도록 송신기 고장여부 표시 바이트와 상세 BIT 결과를 표시할 수 있는 바이트를 구성하였다. 또한 송신기 명령의 올바른 수신 여부를 확인하기 위해서 송신기는 명령을 수신하자마자 command acknowledgement를 일정시간 안에 회신하도록 설계하였다. 예를들어 command ack 값이 1이면 명령 전송 성공, 0이면 명령에 에러가 발생한 것이다. 에러의 종류에는 checksum, message 길이 오류, control 설정치의 범위 오류, 슬롯 할당 오류 등이 포함될 수 있다.

(2) VDB 수신기 메시지 설계

VDB 수신기의 입력 메시지 포맷은 <표 3-9-4-4>와 같고, 출력 메시지 포맷은 <표 3-9-4-5>와 같다.

<표 3-9-4-4> VDB 수신기 입력 메시지

Message ID	메시지 내용	애플리케이션 데이터 크기 (bytes)	Application Data 형식
0xA1	Receiver Control	2	1) 수신기 주파수 (low byte) 2) 수신기 주파수 (high byte)
0xA3	Receiver Reset	0	해당 사항 없음 (명령 수신후 수신기 리셋 수행)
0xA5	Application Data FEC	1	FEC enabled (High) / FEC disabled (Low)

<표 3-9-4-5> VDB 수신기 출력 메시지

Message ID	메시지 내용	애플리케이션 데이터 크기 (bytes)	Application Data 형식
0xA6	수신된 CAT-I 메시지	최대 225	1) Message Status 2) Receive Signal Strength Indicator 3) TDMA Receive Frame/Slot (0~15) 4-225) CAT-I Data
0x55	수신기 상태 정보*	8	1) 수신기 고장 여부 표시 2) 수신 주파수 (low byte) 3) 수신 주파수 (high byte) 4-5) 예비용 6-8) 상세 BIT 결과
0x99	Command Acknowledgment	1	1) Command Acknowledgement
* 수신기 상태 메시지는 0.5초마다 수신기로부터 생성되도록 설계			

VDB 수신기에서 애플리케이션 데이터 필드의 수신기 주파수는 100MHz를 차

감한 주파수로 kHz 단위로 표시한다(예를 들어 110.500MHz의 경우라면 110.500MHz - 100MHz = 10,500kHz).

Message Status 필드는 <표 3-9-4-6>과 같이 정의 한다.

<표 3-9-4-6> Message Status 필드 정의

바이트	비트	정의
1	7-5	사용 안함 (0으로 설정)
	4-2	SSID
	1	FEC Enabled (high) / FEC Disabled (low)
	0	예비 용

SSID(Station Slot IDentifier)는 지상 기준국에 할당된 첫 시간 슬롯으로 A부터 H까지의 문자에 해당되는 숫자값이다. 슬롯 A는 0에, 슬롯 B는 1에, 슬롯 H는 7에 해당된다.

Receiver Signal Strength Indicator는 -100 dBm에서 0 dBm 까지의 범위로 0.5 dBm 단위로 증가하는 데이터 필드값으로는 200에서 0에 해당된다. 이 데이터 필드는 0에서 200까지의 unsigned integer 값으로 정의한다.

수신기의 TDMA Receive Frame/Slot은 송신기의 경우와 마찬가지로 0에서 15 값으로 TDMA 프레임의 슬롯을 나타낸다.

수신기 출력 메시지의 애플리케이션 데이터 필드에서 CAT-I 메시지는 GBAS SARPs에서 정의된 Cat-I Data에 해당된다.

VDB 수신기 출력 메시지의 애플리케이션 데이터에 송신기의 경우와 마찬가지로 수신기의 정상작동 여부를 파악할 수 있도록 수신기 고장여부 표시 바이트와 상세 BIT 결과를 표시할 수 있는 바이트를 구성하였다. 또한 수신기 명령의 올바른 수신 여부를 확인하기 위해서 송신기는 명령을 수신하자마자 command acknowledgement를 일정시간 안에 회신하도록 설계하였다. 예를들어 command ack 값이 1이면 명령 전송 성공, 0이면 명령에 에러가 발생한 것이다. 에러의 종류에는 checksum, message 길이 오류, control 설정치의 범위 오류 등이 포함될 수 있다.

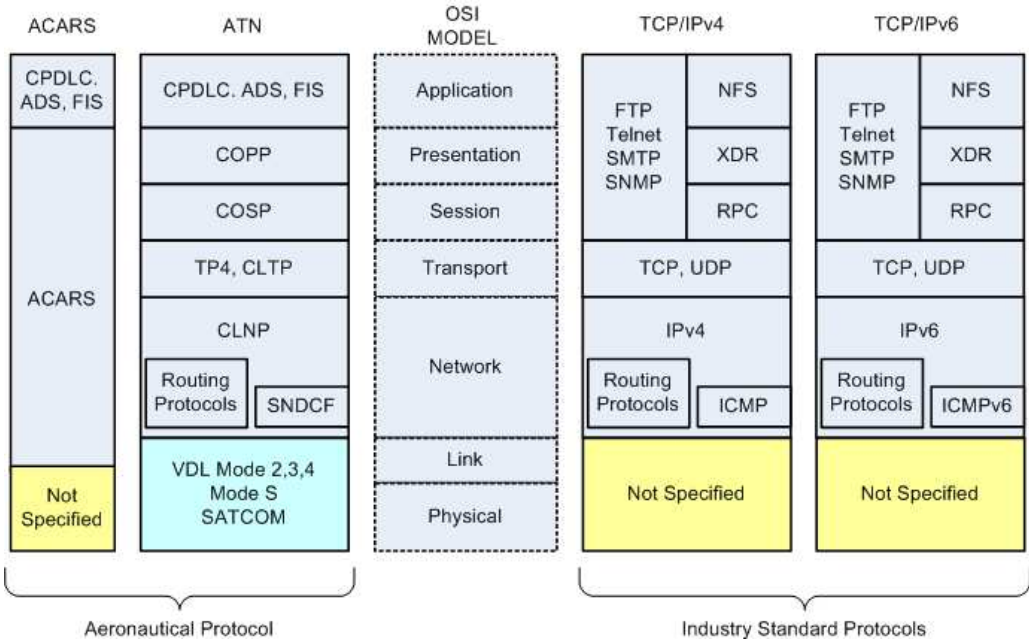
이상과 같이 VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘 개발 방안을 고려해 보았

다. 개발된 VDL 송수신기는 SDR을 고려한 확장성을 고려하여 설계되었으므로, 전술한 바와 같이 하드웨어의 일부 수정과 설계된 알고리즘의 추가 구현을 통해 VDB 장비로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

제 10 절 VDL M2 프로토콜 핵심기술 연구

1. ACARS 와 ATN 에 대한 연구

ACARS 와 ATN 에 대해 자세한 구조를 살펴보기 이전에, 프로토콜의 기본 구조가 되는 OSI 7 계층 참조모델에 대해 알아본다. <그림 3-10-1-1>은 ACARS, ATN, TCP/IP 와 OSI 참조 모델에 대한 비교를 나타낸 그림이다.



<그림 3-10-1-1> Protocol Stack 비교

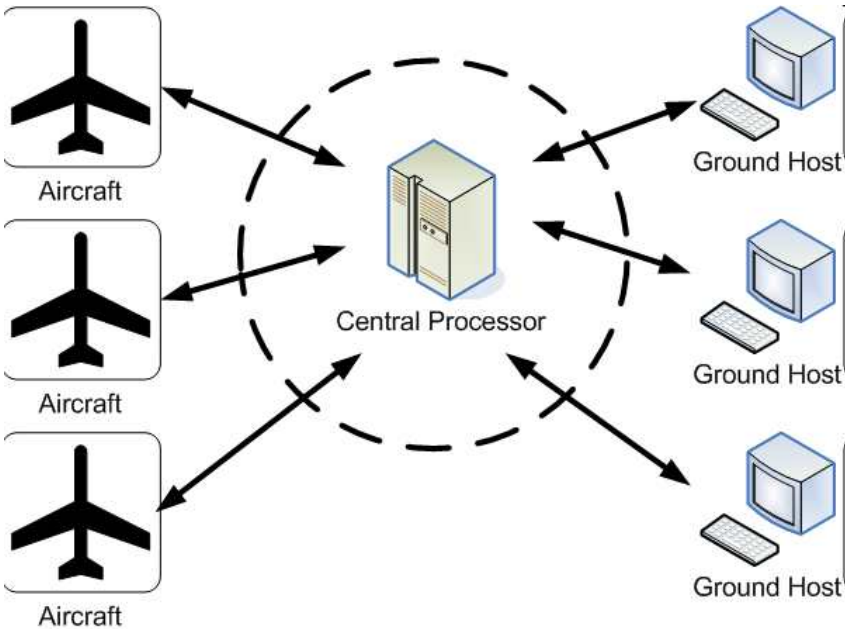
<그림 3-10-1-1>에서 볼 수 있듯이, 현재 가장 많이 사용하고 있는 TCP/IP 프로토콜 모델뿐만이 아니라, ACARS, ATN 모두 OSI 기본 참조모델에 대응시킬 수가 있다. 그림 상에서 TCP/IP 의 link 와 physical layer는 보통 Ethernet 을 사용하는데, 무선의 경우 802.11. 802.16 (Wibro) 등이 사용가능하고, ATN의 경우 VDL 과 위성통신 (SATCOM) 이 정의되어 있다. ACARS 의 물리 계층의 경우는 일반 VHF채널을 이용하고, 다중 동시접속은 불가능하고, 한 채널에 하나의 송신자만 존재가 가능하다. 이에 따른 대역폭 및 다중접속의 한계로, VDL의 데이터 링크 및 물리 계층을 ACARS 의 하위레이어로 사용하는데, 이것이 ACARS over AVLC (AOA) 이다.

가. ACARS 프로토콜

ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) 는 항공기와 지상을 무선시스템간의 통신을 위해 1970 년대 ARINC 사에 의해 개발되었다. 항공기에 등록된 이벤트 발생시 VHF 음성 무선채널을 통해 데이터가 지상장비로 전송되는 방식인데, 전달된 데이터 패킷은 ARINC의 라우팅 및 스위칭 시스템에 의해 설정된 경로에 따라 전송된다. ACARS 시스템은 항공기 서브시스템과 지상 서브시스템으로 나뉘며, 항공기 서브시스템은 VHF 채널을 통한 메시지 송수신과 채널 컨트롤을 담당하는 Manageent Unit(MU)와 항공기 인터페이스를 위한 Control Unit(CU)으로 구성된다. 지상 서브시스템은 ARINC나 SITA의 모든 원격 전송국들로 구성된다. ACARS 는 기본적으로 문자 지향 (character oriented) 의 인터네트워킹 시스템이다. 모든 data 는 ASCII 문자로써 전송이 되고, 필드는 "Line Feed" 문자에 의해 분류된다.

(1) ACARS Routing

ACARS는 중앙 집중적 네트워크이다. 따라서 특별한 라우팅 프로토콜이 없이 중앙 처리기에 의해 모든 메시지가 각 항공기 및 지상장비에 전달된다. 즉, 모든 항공기 및 지상시스템의 메시지는 중앙 처리기로 모이고, 주소에 따라 메시지가 전달되는 방식을 취한다. <그림 3-10-1-2>는 ACARS 라우팅 개념도를 보여준다.



<그림 3-10-1-2> ACARS 라우팅 개념도

(2) ACARS 주소 체계

ACARS는 특이하게도 다운링크(항공기에서 지상으로) 와 업링크 (지상에서 항공기로) 의 주소 체계가 다르다.

(3) 다운링크 주소 체계

다운링크의 주소는 지상 시스템이 결정한다. 지상시스템은 다운링크 을 전달할 곳을 결정하기 위해항공사의 식별자 또는 항공기의 등록 번호와 고유의 라벨을 SMI (Standard Message Identifier)로 바꾸고 이들을 라우팅을 위한 적절한 지상주소와 함께 테이블에 저장하여 유지한다.

(4) 업링크 주소 체계

업링크의 주소는 항상 항공기의 고유주소이다. 만약, 최종 주소가 ACARS 에 연결되는 항공기의 주변기기일 경우, LABEL H1 이 사용되고 추가적인 주소가 Sublabel field 에 포함된다.

(5) ACARS Security

ACARS 는 기본적으로 보안이 제공되지 않는다.

(6) ACARS Quaility of 트랜스포트

ACARS 에서 실시간 QoS 가 제공되는 서비스는 오로지 항공-지상간 물리적 링크에 대한 신호감도에 대한 것이다. 이는 네트워크 QoS 와는 구별되는 것이며, 각 사용자들에 대한 네트워크 품질에 대한 통계적인 특성은 실시간이 아닌, 이후 요청에 의해 제공된다. 이러한 정보는 서비스 제공자에 따라 다양한 형태를 갖는다.

(7) ACARS Mobility

기본적으로 ACARS 는 중앙 처리기에 의해 동작하고 모든 은 이를 경유하기 때문에 중앙 처리기는 모든 노드들의 위치를 간단하게 추적할 수 있다. 구현은 다음과 같은 단계로 간단하게 이루어진다.

○ ACARS 다운링크

- ACARS 이 VHF, HF 또는 SATCOM에 의해 전달된다.
- 다운링크 데이터를 수신하면, ACARS 을 지상시스템의 중앙 처리기에 라우팅을 하기위해 전달한다.
- Central Processor 은 그 을 주소에 맞는 end system에 전달한다.

○ ACARS 업링크

- 중앙 처리기가 지상 종단 시스템으로부터 이를 전달 받는다.
- 적절한 지상국에 이를 전달한다.
- 이후 지상국은 항공기에 이를 전달한다.

나. ATN 프로토콜

1980년대 초, 항공 교통량의 증가를 지원할 만한 통신수단이 ACARS만으로는 한계에 이를 것이라는 예상으로 FANS 가 ICAO에 의해 설립되고, 항공 통신 기술에 대한 새로운 정의 및 개발이 시작되었다. 이는 민간 항공과 항공 항법, 위성에 관한 기술을 포함한다. 이러한 FANS의 주된 성과는 국제적인 항공통신 및 surveillance/air traffic management (CNS/ATM) 시스템의 개념에 대한 명확한 정의와 더불어 위성기반 시스템에 대한 발전이었다. 이러한 개념은 FANS의 Pahse II에서 더욱더 발전되었고, Aeronautical telecommunication network (ATN) 이라는 시스템으로 CNS/ATM 구현을 총괄하는 기술이 만들어 졌다.

ATN은 application entity 들과 통신 서비스들이 지상과, air-to-ground, 그리고 avionics data 서브네트워크 들 간의 상호동작을 통해 유기적으로 연결되는 역할을 담당한다. 이러한 유기적 연결은 국제 표준을 바탕으로 한 공통의 인터페이스와 서비스, 프로토콜들을 바탕으로 하고, 이를 위해 ATN 은 데이터 통신 서비스를 Air Traffic 트랜스포트 (ATS) 기관 및 항공사들에게 다음의 4가지 형식 통신을 제공한다.

- Air Traffic Transports Communication (ATSC)
- Aeronautical Operatinal Control (AOC)
- Aeronautical Administrative Communication (AAC)
- Aeronautical Passenger Communication (APC)

(1) ATN 의 기본개념

ATN은 기본적으로 신뢰성 있고 에러율이 낮은 통신 서비스를 두 컴퓨터 시스템(End Systems)에 제공한다. 동시에, ATN 은 제공되는 application 에 맞는 요구조건 (delay 등)을 만족시킬 수 있도록 디자인 되어 있다. 특히, 분산 ATM에 대한 자동화를 이룰 수가 있으며, 통합된 통신 infrastructure를 구성한다. 또한 ATN 은 효율적인 bit-oriented protocol 을 제공하여 data 송수신 과정에서 발생할 수 있는 에러를 최소화 하며, 통신 채널을 보다 효율적인 활용한다.

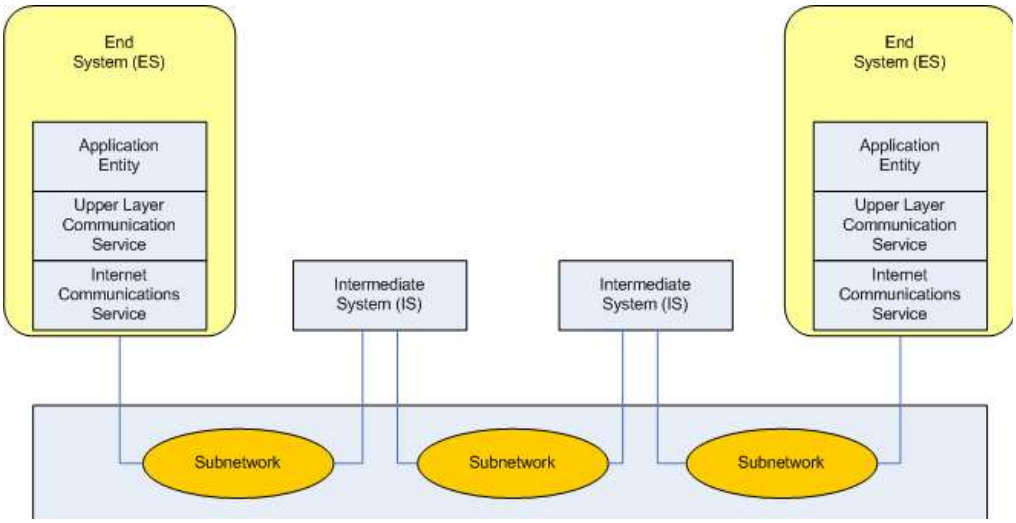
(2) ATN Infrastructure

ATN infrastructure 는 기본적으로 서브네트워크, ATN 라우터(Intermediate System - IS) 와 종단 시스템으로 구성된다.

- 종단 시스템: 일반적인 end user, 또는 항공기의 단말, 지상장비의 최종 호스트를 지칭한다.
- 서브네트워크: 이는 보통 ATN 의 정의에 따르는 네트워크가 아닌, 일반적인 특정 기술이 적용된 X.25 같은 네트워크를 지칭한다. 이를 통해 ATN 시스템들이 물리적으로 연결된다.
- ATN 라우터(IS): ATN 라우터는 다양한 형태의 서브네트워크를 연결하여 다양한 경로를 설정하는 역할을 한다. 또한, ATN router 는 데이터 패킷[6]들을 요청된 서비스 클래스에 따라 현재 가용한 네트워크 인프라 스트럭쳐를 통해 경로를 설정한다.

<그림 3-10-1-3>은 ATN network 를 구성하는 요소들의 개략화된 도식이다. 각 계층은 OSI-7 layer 의 참조모델과 같은 역할을 하며, 종단간 관계가 이 계층을 통해 어떻게 이루어지는지를 잘 보여준다.

6) ACARS에서는 character oriented 방식이기 때문에 message 라는 용어를 사용하고, ATN 에서는 bit-oriented 방식이기 때문에 packet 이라는 용어를 사용한다.



<그림 3-10-1-3> ATN 네트워크 요소

(3) Names and address(주소)

ATN의 naming 은 open system interconnection (OSI) 의 참조모델(ISO 7498-3) 에 기반 한다. 따라서, 이는 국제적인 주소규격과 정보에 대한 유일하고 명확한 identity를 제공한다. ISO 7498-3 에 따르면 name 과 address를 구분하는데, name은 어떤 언어나 객체를 표현하는 식별자이고, 반면에 address는 객체의 위치를 나타내는데 사용된다. 즉, name은 그 객체가 존재하는 한 변하지 않지만, 주소는 바뀔 수가 있다. 이를 기본으로 ATN에서는 보통 항공사, 항공기 등의 특정 name과 여러 변수들을 조합하여 address를 구성한다.

(4) Name Allocation Principles

주소 체계와 마찬가지로, ATN names를 위한 계층적 naming structure는 ISO에 의해 정의된다. 즉, ISO name space의 일부분이 ICAO에 할당되고, 이는 다시 ICAO에 의해 각 객체에 할당된다.

(5) Internet Communication Transports(ICS)

ICS 는 ATN 프로토콜 아키텍쳐의 트랜스포트 계층과 네트워크 계층에 의해 제공되는 서비스들로 구성된다. AT 이 제공하는 데이터 통신의 internetwork architecture 는 다음과 같다.

- 모든 air traffic Transports communications (ATSC) 와 aeronautical industry Transport communication (AINSC) 가 필요로 하는 ground-to-ground 또는 air-ground 데이터 통신서비스에 필요한 통상의 통신 서비스들을 제공.
- ATSC 와 AINSC 가 필요로 하는 보안성과 안정성을 제공.
- ATSC 와 AINSC 가 필요로 하는 등급별 서비스를 가능케 함.

(6) ATN 트랜스포트 Layer

OSI 7 계층 정의에 의하면, 트랜스포트 계층은 종단 사용자들 간에 투명한 전송을 보장한다. 따라서 ATN에서는 ATN host computer 인 종단 시스템이 이에 해당한다.

ATN 트랜스포트 계층은 다음 두 가지 모드를 지원한다.

- Connectionless mode 트랜스포트서비스 - flow control 없거나, 기존 연결 없이 각 datagram를 end system 간에 주고받을 수 있도록 한다. 다라서 전송에 대한 보장이 없다.
- Connection-mode 트랜스포트 서비스 - 두 end user 가 통신 채널상에서 신뢰성 있는 송수신을 위해 서로 협상을 한 후 연결하는 서비스이다.

(7) ATN Network Layer

OSI 네트워크에서 일반적으로 Network layer 에서 트랜스포트 계층과 마찬가지로, connection mode 와 connecionless mode 둘 다 제공한다. 하지만, ATN 의 Network layer 는 connectionless mode 만 지원되도록 하고 있다. 이유는, 다른 network 와의 원활한 동작을 위해서는 동일한 네트워크 프로토콜이 전부 구현되어

있어야 하기 때문에 응용 계층과 트랜스포트 계층의 프로토콜은 상호동작을 위해서 각 시스템에 동일하게 설치가 되어 있어야 한다. 하지만, network layer 의 경우 네트워크간 (internetwork)에 트랜스포트 서비스와는 상관없이 데이터에 대한 릴레이(relay) 만을 책임지기 때문에 굳이 connection mode 및 프로토콜의 consistency를 만족시킬 필요가 없다. 이는 구현상의 비용증가의 문제도 있다. 따라서, ATN 네트워크 계층에서는 한 가지 mode 만을 지원하고, 트랜스포트 계층 서비스와는 독립적으로 작동한다.

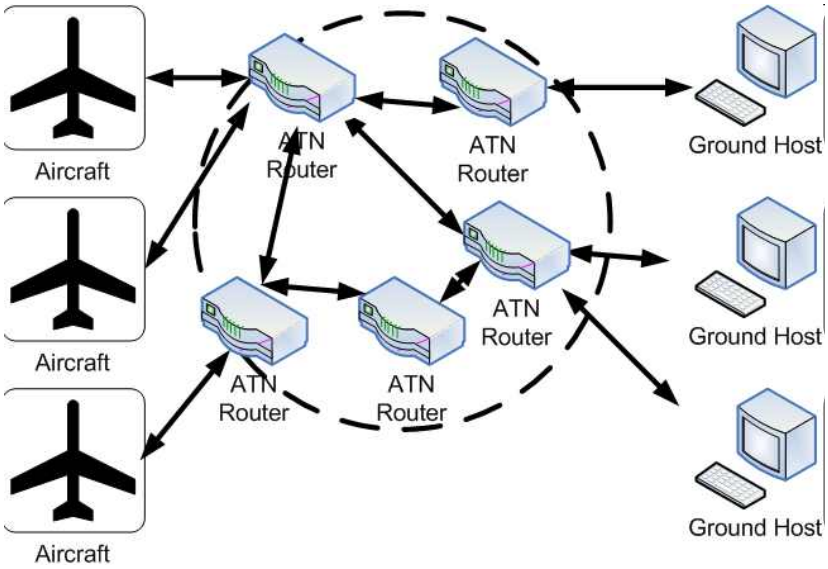
ES(End system) 에서의 서브네트워크의 역할은 ES 가 붙어있는 서브네트워크 상에서 네트워크 서비스를 제공하기 위한 것이고, IS (Intermediate System) 에서의 서브네트워크의 역할은 두 통신 사용자간의 통신을 위한 경로를 지정하고 이를 따라 사용자 데이터를 릴레이 하는데 역할이 있다. 이를 위해서는 모든 ES(End system) 와 IS(Intermediate System) 들은 ISO/IEC 8473[7] 을 필수요건을 갖추어야 한다.

(8) ATN routing protocols

ACARS 와는 다르게, ATN은 분석적 라우팅을 수행한다. <그림 3-10-1-4>는 ISO 표준 프로토콜에 기반한 ATN 라우팅의 개념도를 보여준다.

---

7) 여러 서브네트워크 상에서 connectionless data protocol data units (PDUs) 들을 릴레이 하기 위한 표준. ISO global network addressing plan 및 QoS, congestion control, segamentation, reassembly 및 end-to-en route recoring, reporting 에 대해 기술되어 있다.



<그림 3-10-1-4> ATN 라우팅 개념도

기본적으로 ATN 은 세 가지의 기본적인 라우팅 프로토콜을 사용한다. 두 개의 intra-domain 라우팅 프로토콜(Domain 내에서의 routing) 과 한 개의 inter-domain 라우팅 프로토콜(Domain 간의 routing) 이 그것인데, intra-domian 라우팅 프로토콜은 End System-to Intermediate System(ES-to-IS) 와 Intermediate System-to-Intermediate System (IS-to-IS)를 정의한다.[8] 각각은 ISO 9542 와 ISO 10589 을 따른다. ATN 을 위한 주요 inter-domain 라우팅 프로토콜은 Inter-Domain 라우팅 프로토콜 (IDRP) 로서, ISO 10747 을 따른다.

(가) Intermediate System-to-Intermediate Systems (IS-IS)

ISO/IEC 10589 IS-IS intra-domain routing information exchange protocol 은 연결정보를 같은 라우팅 도메인 내에서 교환을 위해 IS 들에 의해 사용된다. 이는 기본적으로 link-state hierarchical 라우팅 프로토콜로서, 네트워크 토폴로지 구성을 위해 link-state 정보를 자신의 서브 네트워크에게 flooding 한다. 이 프로토콜은 두 단계의 레벨이 존재하는데, Level 1 은 같은 라우팅 영역 내에서 동작하고, level 2 는 서로 다른 라우팅 영역들 사이에서 동작한다. 이 프로토콜을 이용해 연결정보를

8) 보통 router 와 그에 묶인 호스트들을 하나의 서브네트워크 group 라고 보고, router 들끼리의 연결역시 하나의 서브네트워크 group 이라고 본다.

얻게 되면 IS 들은 level 1 에 있는 라우팅 영역의 topology map 을 형성하거나 level 2 의 다른 routing area 로의 연결정보의 topology map 을 형성한다. 이렇게 형성된 map 으로 부터 최적화 경로 (optimal route)를 찾게 되고, IS 들은 이를 이용하여 패킷들을 전달하게 된다.

(나) End System-to-Intermediate System (ES-IS)

ISO/IEC 9542 ES-IS 프로토콜은 로컬 서브네트워크 환경에서 ES 와 IS사이의 연결정보를 교환하기 위한 메카니즘을 제공한다. 즉, 이 프로토콜을 이용하면, 같은 서브네트워크 내에 있는 IS 와 ES 들에 대해 서로 간 동적 탐색이 가능하고, IS들은 ES 들에 대한 최적화된 경로정보를 제공한다. 만약 IS 가 그 서브네트워크에 없다면, ES 들은 역시 서로 간에 위치 탐색이 이 프로토콜에 의해서 가능하다. 또한, ES-IS 프로토콜은 IS-IS routing protocol 의 보완적인 역할을 하는데, 다른 서브네트워크에 속한 IS 를 탐색할 경우 ES-IS프로토콜을 사용하게 된다. 이는 mobile 서브네트워크에서 사용되는 IDRP 에서도 비슷하게 사용된다.

(다) Inter-Domain Routing Protocol (IDRP)

IDRP는 다른 domain 에 위치하는 router 들과 어떻게 통신을 하는지에 대한 프로토콜이다. IDRP는 CLNP (connectionless network protocol), ES-IS, IS-IS 들 간에 seamless하게 동작하도록 설계되어 있다. IDRP 는 기본적으로 IP 환경에서 사용되는 Border Gateway Protocol (BGP) 와 Inter-Domain Routing Protocol에 기반한다. IDRP 의 특징은 다음과 같다.

- IDRP는 도메인간 라우팅에 참가하는 IS 들을 지칭하는 Border Intermediate System (BIS), 동일 라우팅 계획이나 룰에 의해 묶인 같은 그룹에 속해있는 ES 들과 IS 들을 지칭하는 Routing Domain (RD) 를 정의한다.
- Routing Domain Identifier (RDI)는 RD 의 유일한 식별자를 지칭한다.
- Routing-Informationi Base (RIB) 는 IDRP에 의해 사용되는 라우팅 데이

터베이스이며, 이는 RD 내의 다른 BIS 들로부터 받은 정보를 기반으로 만들어진다. 또한, RIB는 특정 BIS 로의 경로정보를 포함한다.

IDRP는 기본적으로 "vector distant" routing 방식이며, 다른 라우팅 방법과 마찬가지로 주소의의 prefix 를 보고 경로를 결정하게 된다. 또한, 링크상의 지연도 고려된다.

(9) Mobile Users

ATN 은 SSR Mode S, AMSS, VDL 등 많은 "mobile" 서브네트워크들을 포함한다. 항공기는 항해동안 많은 다른 종류의 mobile 서브네트워크에 접속할 수 있다. 즉, 다른 커버리지에 속하는 위성에 속해있는 서브네트워크 사이를 이동한다던가, 국가 등을 이동할 때 Mode S 서브네트워크, VDL망 등을 이동하면서 접속이 가능하다.

이를 통해 항공기에 탑재되어 있는 단말 또는 application 이 지상의 다른 application 이나 단말과 통신을 할 수 있어야 하는데, 이를 위해 mobile platform 은 라우팅에 대한 고려가 요구된다. 즉, mobile platform 은 독립적인 라우팅 도메인을 형성하고 BIS 와 같은 ATN 라우터를 포함한다.

이러한 mobile user (항공기) 의 존재는 지상기반의 ATN 구성에 영향을 끼치게 된다. 왜냐하면, 지상의 경우 topology 가 잘 변하지 않지만, 항공기의 경우 빠른 이동으로 지상 ATN 의 접속지점이 빠르게 변하고, 이에 따른 라우팅 정보에 대한 교환이 수시로 이루어져야 하고, 이에 대한 불안정한 routing 문제를 피할 수 있어야 한다. 따라서, ATN mobile 라우팅은 두 가지 레벨로 이루어진다. 첫 번째 레벨은 어떤 지역이든 항상 내정된 경로 제공자(default route provider) 가 존재해서 모든 항공기에게 기본적인 경로를 제공해준다. 두 번째 레벨은 항공기의 기항지 (aircraft's home) 에 의해 제공된다. 그것은 특별한 ATN 라우팅 도메인을 가지며 원론적으로 ATN RD 인데, 보통 항공기가 속해있는 항공사의 RD이다. 일반적으로, 같은 항공사 또는 단일 국적의 General Aviation (GA) 속해있는 모든 항공기들은 상기 의미의 같은 home 을 공유한다.

독립적인 ATN 망(ATN Island) 에 잇는 ATN의 내정 경로 제공자는 모든 항

공기 위치에 대해 정보를 제공하는 "home" 을 유지하고, 이를 통해 내정경로 제공자는 특정 경로가 지정되지 않은 채 어떤 항공기에 대한 패킷을 전달할 경우 그 항공기의 알려진 "home"으로 향하도록 경로를 설정한다.

(10) ATN Security

보안은 aeronautical 환경에서 필수적인 고려대상이며, ATN 은 몇 가지 보안 기능을 이용하여 보안성을 제공한다. ATN 보안기능은 다음 사항들을 주로 고려한다.

- CNS./ATM application 을 내외부적인 위협으로부터 보호되어야 한다.
- QoS 와 Routing Policy 요구조건들이 유지되어야 한다.
- ITU 요구조건에 따라 항공-지상간 서브네트워크가 사용됨을 확인해야 한다.

각 데이터의 "traffic type" 을 구분하는 정보와 application 의 routing policy, QoS 요구조건에 대한 정보를 전달하는 CLNP Data PDU 헤더안에 있는 Security Label이 보안을 위해 사용된다.

현재 공격자로부터 RIB 를 보호하기 위한 메카이즘은 존재하지 않는다. 하지만, ISO/IEC 10747 type 2 authentication의 사용이 향후 표준을 위해 고려중이다.

(11) ATN Mobility

ACARS 의 경우와 마찬가지로 중앙노드가 없다면 이동성(mobility)은 상당히 복잡해진다. ATN 은 기본적으로 mobile node(aircraft) 의 위치에 대해 명확히 처리하는 중앙 집중적이 아닌, 분산된 라우터들의 집합이다. 따라서 ATN내에서의 이동성은 IDRP에 의해 다루어진다. mobile routing 을 위한 IDRP의 기본 특성은 다음과 같다.

- 모든 mobile node (항공기) 는 "home" 라우팅 도메인이 할당되어 진다. 이 home 라우팅 도메인은 항상 항공기의 위치와 항공기가 붙어있는 네트워크에 대한 정보를 가지고 있다.

○ 지상 종단시스템으로부터 업링크가 올 경우, 통상 항공기가 어떤 네트워크에 붙어있는지 알고 있는 home 라우팅 도메인에 보내진다. home 라우팅 도메인에 있는 라우터는 이것을 다시 항공기에 전달하게 된다. 즉, 특정항공기에 을 보내면 이는 항공기의 home으로 전달되고, home 라우터는 그 항공기의 위치정보를 알고 있기 때문에 이것을 다시 항공기에 전달할 수 있는 것이다.

○ 항공기로부터 지상 종단 시스템에 전달하는 다운링크의 경우, 항공기는 종단 시스템의 주소만 알고 있으면 된다. 이는 라우팅 프로토콜에 의해 최적화된 경로가 설정되어 전달될 것이다.

2. ATN 실제 적용 방안

가. 개요

현재 NASA GRC 와 EUROCONTROL 이 X.25 로 구성되어 있는 항공지상망(aviation backbone) 을 IPv6 를 기반으로 하는 네트워크로의 전환을 연구하고 시도하고 있다. 이러한 관점에서, 앞서 ATN과 TCP/IP에 대한 비교분석을 하였고, 이러한 연구의 최종 목적은 모든 항공기와 지상장비의 단말들이 모든 IP "ALL IP"로 구축하고, 현재 세계적으로 잘 구현되어 있는 TCP/IP네트워크를 이용하기 위함이다.

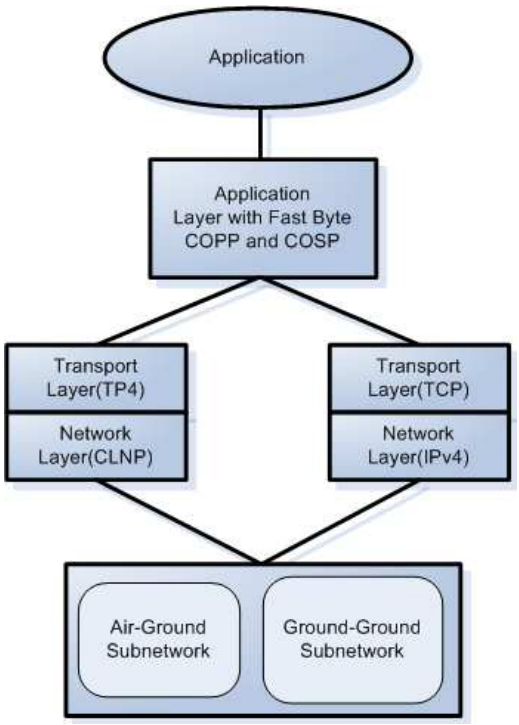
앞서 설명했듯이, TCP/IP와 ATN은 기본적으로 OSI 7 layer 를 기본으로 하고, 각 layer 별 기능도 매우 유사하다. 따라서, ATN의 구조를 새로 구성할 필요없이 기존의 구성요소들을 TCP/IP에 대응시킬 수 있다. 하지만, 근본적으로 각각이 정의한 프레임 구조, 흐름 제어, 에러 제어 등의 방식이 과정에 있어서 차이를 보인다. 따라서, 이번 장에서는 이러한 ATN의 큰 구조 변경 없이 어떻게 TCP/IP에 적용할 수 있는지에 대해서 알아본다.

나. ATN 과 TCP/IP Architecture 에 대한 비교분석

ATN의 트랜스포트 계층의 상위계층에서는 OSI 표준인 세션 프로토콜과 프리

젠테이션 프로토콜이 사용되고 트랜스포트 계층은 TP4, 네트워크 계층은 CLNP가 사용된다. 이 두 레이어는 각각 TCP 와 IP 와 대응된다. 또한, 그 이하의 항공-지상간 서브네트워크와 지상-지상간 서브네트워크는 VDL 등을 포함하며, 현재의 일반적인 네트워크 환경인 이더넷에 대응된다.

ATN application 은 ATN 프로토콜 스택의 application entity(AE 를 사용하여 그 하위계층과 의사소통을 하게 된다. air-ground networking 환경에서는 대역폭의 효율성이 매우 중요한데, 이것은 Fast Byte 라는 개념에 의해 이루어진다. Fast byte connection oriented presentation protocol (COPP) 와 connection oriented session protocol (COSP) 가 ATN 아키텍처의 프리젠테이션 계층과 세션 계층을 대신하며, 이 기능들은 응용 계층에 삽입되어 응용 계층이 직접 트랜스포트 서비스를 이용할 수 있도록 하는 인터페이스를 제공한다. ATN 에서는 TP4/CLNP protocol 이 트랜스포트 서비스를 제공하며, 결과적으로 TCP/IP 아 TP4/CLNP 에 대응되어 매우 유사한 구조를 보여준다. <그림 3-10-2-1>는 이러한 ATN 와 TCP/IP 프로토콜 구조의 유사성을 보여준다.



<그림 3-10-2-1> ATN 과 TCP/IP 구조 비교

(1) 트랜스포트 서비스

트랜스포트 계층은 기본적인 종단 시스템간 통신을 담당한다. 즉, 트랜스포트 계층의 상위계층은 모두 응용 프로그램에 관계된 것이며, 그 이하는 전부 실제 전송 네트워크에 관계된 것이다. ATN 에서는 TP4 가 상위 계층의 connection oriented 전송을 위해 신뢰성 있는 데이터 경로를 제공한다. 반면에 CLTP (connectionless 트랜스포트 protocol) 은 단순 connectionless 트랜스포트를 위한 단순 datagram 의 전송만을 제공한다. TCP/IP 에서는 reliable connection oriented 전송은 TCP 에 의해서, simple datagram 전송은 UDP 에 의해서 이루어진다.

connection oriented 동작에서는 data stream이 아무런 손실이 없지 목적지의 트랜스포트 사용자까지 도달해야한다. 또한, 중복된 것도 없어야하며 data stream 의 순서도 맞아야 한다. 즉, 트랜스포트 계층에서는 이러한 서비스를 만족시키기 위해 에러 탐지, 복구기능들을 종단간 통신에 제공한다.

(2) ATN Connection Oriented 전송 프로토콜

ATN 트랜스포트 계층 의 COTS 는 다른 OSI 트랜스포트 계층과 마찬가지로 다음의 서비스를 한다.

- connection 들을 multiplex 한다.
- 데이터 패킷의 도달 순서를 위해 순서 제어 수행
- 트랜스포트 서비스 데이터를 트랜스포트 프로토콜 데이터 유닛에 맞게 분할한다. 수신 측에서의 트랜스포트 계층은 이를 재조립 하여, 원래의 트랜스포트 서비스 데이터를 복구한다.
- 에러 검출
- 에러 검출 기능에 의해 검출된 에러를 복구할 수 있도록 하는 에러 복구. 보통 트랜스포트 계층의 종단간 수준에서는 재전송 기법이 이에 해당한다.

○ 양단의 트랜스포트 개체간의 데이터 전송을 위해 보조를 맞추는 흐름 제어

○ 긴급한 데이터 전송을 위해 정상 흐름 제어에 따르지 않고 서비스 할 수 있도록 하는데, 이는 TCP 에서의 긴급 데이터와 유사하다.

(3) TP4 와 TCP 전송 서비스

TP4 와 TCP는 전송 서비스를 제공한다는 점에서는 기능적으로 동일하다. 연결체 결과 time-out 메카니즘에 따라 재전송하는 것 역시 매우 비슷한 점을 보인다. <표 3-10-2-1>은 두 프로토콜의 유사한 점을 비교하여 보여준다.

<표 3-10-2-1> TCP 와 TP4 의 기능 비교

Function	TCP Protocol	TP4 Protocol
Data transfer	Streams	Blocks
Flow control	Octets	Segments
Error detection	Checksum	Checksum
Error correction	Retransmission	Retransmission
Addressing	16 bit ports	Variable TSAP address
Interrupt Transport	Urgent data	Expedited data
Security	Supported	Variable in TP
Precedence	Supported	16 bits in TP
Connection	Graceful	Non graceful

(4) Network 서비스

ATN에서 주로 사용하고 있는 네트워크 계층은 Connectionless 네트워크 프로토콜(CLNP)을 제공하고, TCP/IP는 IP를 네트워크 서비스로서 제공한다. CLNP와 IP는 기능적으로 동일하며, 둘 다 best effort 형식의 네트워크 프로토콜이다. 두 가지의 주요 차이점은 CLNP 경우 다양한 길이의 주소체계를 사용하는데 반해, IPv4

의 경우 고정된 32 bit, IPv6 는 고정된 128 bit 주소체계를 사용한다.

IP 에서는 Internet Control Message Protocol (ICMP) 가 host와 게이트 사이에 IP datagram 처리에 있어서 에러 보고를 위한 용도로 사용한다. 이와 같은 기능이 CLNP 에서도 제공된다. CLNP 에서는 폭주에 대한 의미를 담는 값에 대한 field set을 버린 이유와 함께 CLNP 에러 보고를 이용함으로써 ICMP와 같은 동작을 한다.

CLNP와 IP 모두 여러 옵션들을 가지고 있어, 이러한 옵션들을 이용하면 CLNP 와 IP 가 동일한 동작을 하게 할 수 있다. 즉, 두 프로토콜은 동일하다고 할 수 있으며, processing 에 있어 약간의 차이를 보일뿐이다. <표 3-10-2-2>는 CLNP 와 IP 옵션들 기능차이를 요약한다.

<표 3-10-2-2> CLNP 와 IP 기능 비교

Function	CLNP	IP
Version identification	1 octet	4 bits
Header length	1 octet, represented in octets	4 bits, represented in 32 bit words
Quality of Transport	QoS maintenance option	Type of Transport/Class
Segment/fragment length	16 bits, in octets	16 bits, in octets
Total length	16 bits, in octets	16 bits, in octets
Data unit identification	16 bits	16 bits
Flags	Don't segment, more segments, suppress error report	Don't fragment, more fragments
Segment/fragment offset	16 bits, represented in octets(value always multiple of 8)	13 bits, represented in units of 8 octets
Lifetime, time to live	1 octet, represented in 500 millisecond units	1 octet, represented in 1-second units
Higher layer protocol	Not present	Protocol identifier
Lifetime control	500 millisecond units	1-second units
Addressing	Variable length	32-bit fixed
Options	· Security · Priority · Complete source routing · Partial source routing · Record route · Padding · Not present · Reason for discard(Error PDU only)	· Security · Precedence bits in TOS · Strict source route · Loose source route · Record route · Padding · Timestamp · Uses ICMP messages

(5) 라우팅

ATN 에서의 라우팅은 앞서 설명한 바와 같이 TCP/IP 와 기본적으로 같다.

(가) ATN 라우팅

ATN 라우팅에 대해 간략히 요약하면

- ○ 라우팅 프로토콜은 기본적으로 ES 와 IS간의 경로정보 전달을 위함이다.
- ○ 양단의 ES사이의 경로정보 이용하여 최적으로 설정하는 라우팅 알고리즘이 작동한다.
- ○ ATN 라우팅은 계측적인 구조를 가지고 있으며 다음과 같은 기능적 계층을 가진다.
- ○ ES에서 IS로 가는 라우팅
- ○ Intra-domain 내의 IS에서 IS로 가는 라우팅(라우터대 라우터)
- ○ Interdomain 사이에서의 IS에서 IS로 가는 라우팅

이것들에 대해서는 앞서 ATN 라우팅에서 자세한 설명을 하였다.

(나) TCP/IP Routing architecture

오늘날의 TCP/IP 라우팅 구조는 OSI 라우팅 구조와 매우 유사하다. 각 host 들은 discovery protocol 을 사용하여 게이트웨이와 같은 네트워크 내의 다른 host 들의 식별자(이더넷 주소)를 얻을 수가 있다. Autonomous system (AS) 내의 게이트웨이들은 내부 게이트웨이 프로토콜을 사용하고, AS사이에서는 외부 또는 경계 게이트웨이 프로토콜을 사용한다. 여기서 AS 는 ATN에서의 라우팅 도메인, 내부 게이트웨이 프로토콜은 ATN 의 도메인내 IS-IS 프로토콜, 외부 게이트웨이 프로토콜은 도메인간 라우팅 프로토콜에 대응된다.

ATN 에서는 discovery process가 announcement 라는 기능으로 분류된다. ES

는 ES-IS프로토콜의 end system hello message (ESH)를 이용하여 자신의 서브네트워크 내에 공지(announce)하는데, ESH는 같은 서브네트워크 안의 IS에게 자신의 존재를 알리는 역할을 한다.

ATN과 TCP/IP 모두 경로 변경 기능을 가지고 있는데, TCP/IP의 경우 ICMP를 사용하고, ATN의 경우 ES-IS 프로토콜의 일부인 경로 변경 메시지 또는 경로 변경 기능을 이용한다. Reachability와 discovery를 위해서 TCP/IP에서는 Address Resolution Protocol (ARP)를 이용하는데 반해, ATN에서는 ES-IS 의 프로토콜을 그대로 옵션의 변경을 이용하여 사용한다.

(다) discovery protocols 들의 비교

ES-IS 프로토콜은 어떠한 물리적인 방식을 따르든 동작하도록 설계되어 있다. 반면에 ARP 는 오로지 이더넷만을 위해서 설계되어 있는데, 다른 종류의 network에 활용되기 위해 계속 확정되어 왔다. 두 가지의 가장 큰 차이점은 ARP는 요청(on-demand) 방식으로 작동하는데 반해 ES-IS discovery 과정은 주기적(periodically) 하게 이루어진다. 또한 ARP 는 특정 방송주소 (broadcast address)를 사용하는데 반해, ES-IS 는 특정 그룹에게만 전송할 수 있는 multicast address를 사용한다.

(라) Intradomain Routing

OSI 도메인내 IS-IS 라우팅 프로토콜은 하나의 라우팅 도메인내의 모든 IS 에게 해당 라우팅 도메인에 대한 topology를 제공한다. TCP/IP에서는 Open Shortest Path First Protocol (OSPF)가 가장 최근의 도메인내 라우팅 프로콜이며 널리 사용된다. 이 OSPF는 OSI 의 IS-IS 프로토콜과 매우 밀접한 관계가 있는데, 특별히 TCP/IP환경에서만 사용되도록 만들어진 것이다. OSPF 와 IS-IS 둘 다 Dijkstra의 shortest path first algorithm 과 분산 link state 정보를 Perlman의 fault tolerant broadcast technique 을 이용하는 link-state 라우팅 프로토콜을 기반으로 한다.

OSPF 와 IS-IS 의 가증 큰 차이는 몇 가지 프로토콜 동작에 있다. OSPF 는 IP datagram 으로 encapsulated 되지만, IS-IS 는 각각의 데이터 링크 프로토콜 상에서 직접적으로 동작한다. 또한, 두 가지 프로토콜은 어떻게 링크 상태 업데이트를 다루는가에도 차이가 있다. IS-IS 는 모든 link state update 정보를 단일헤더를 가지는 단일 link state 패킷을 이용하여 전달하지만, OSPF 의 경우는 각 목적지에 따른 link-state 정보를 분류하여 이를 하나의 IP 데이터그램으로 묶어서 전달한다. 즉, OSPF 는 update 가 매우 자주 일어나는 환경 하에서는 최적화되어 link utilization 을 극대화 할 수 있지만, 이는 많은 분류된 link-state advertisement 의 부담으로 인해 많은 one-link state packet 에 비해 메모리를 많이 소모하는 trade-off 관계가 있다.

(마) Interdomain Routing

IDRP 에서는 전체적인 internetwork 가 routing domain 간에 개별적인 서브네트워크 와 border intermediate system (BIS)들에 의해 각각이 연결된다는 관점에서 각 RD 내의 BIS 는 도메인간 라우팅인 IDRP 에 참여하고, 또한, 각각이 속한 domain 을 위한 도메인내 라우팅을 동시에 참가한다는 개념을 가지고 있다.

TCP/IP routing 에서는 도메인간 라우팅이 inter autonomous system routing 이 되는데, 인터넷으로 나갈수 있는 tree 구조를 가지는 첫 번째 외부 게이트웨이가 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 게이트웨이들은 Border Gateway Protocol(BGP) 에 의해 작동되고, IDRP와 마찬가지로, BGP역시 분석적인 distant-vector 를 이용하여 경로를 계산한다. 또한, IDRP 에서의 BIS-BIS 는 각 AS 로의 path 에 대응되고, 이들은 각각의 외부 게이트웨이 사이에서 형성된다. IDRP 는 IPv6 를 위한 도메인간 라우팅의 하나로 채택되기도 하였다. 왜냐하면, IDRP 는 BGP 와 같은 path vector를 기반으로 하며, BGP 기능의 superset 을 포함하기 때문이다.

결론적으로, ATN 와 TCP/IP에서 사용되는 라우팅 프로토콜들의 구조는 기능과 능력면에서 매우 유사하다 할 수 있다.

(바) Addressing

ATN은 각 End-System 을 네트워크 계층에서 식별할 수 있도록 하는 NSAP 를 사용하는 반면에, TCP/IP 는 32bit (IPv4) 또는 128bit (IPv6) 의 고정된 값을 주소체계로 사용하고 있다. 따라서, NSAP 주소를 IPv4 주소에 대응시키는 것을 불가능하다. 하지만, IPv6 의 경우 NSAP를 위한 주소 공간을 따로 지정해두었다. 따라서, IPv6 에서는 NSAP의 주소체계를 그대로 대응시키는 것이 가능하다.

(사) 서브네트워크

현재 다양한 이종 (heterogeneous) 의 성격을 가지는 네트워크가 존재하는데, 이는 많은 다른 형태의 네트워크들이 서로 연결되어 있다는 것이다. 따라서, network 계층 는 어떤 종류의 다른 서브네트워크 와 작동할 수 있도록 설계되어야 한다. 이에 대한 현실적인 해결책은 각 서브네트워크 의 기능적인 것들을 최소로 만족시킬 수 있는 단일 프로토콜을 정의하고, 그것을 보든 서브네트워크 access protocol 의 최상위에 오도록 하는 것이다. 이것은 IP 와 OSI connectionless network protocol model 이 지향하는 방향이다. 따라서, 각각 network 계층 를 지원하는 공통의 프로토콜이 존재하지 않지만, 앞에서 살펴본 바와 같이 두 프로토콜 모두 같은 철학에서 나온 프로토콜이면서 기능적으로 매우 유사하기 때문에 프레임 포맷과 기타 몇 가지 사항을 적절하게 바꾸어주는 변환기가 있다면 두 가지 프로토콜의 연결이 자연스럽게 이루어질 수 있을 것이다.

다. TCP/IP 망을 이용한 ATN

기본적으로 TCP/IP statck 상위에 ATN 응용들을 정의하여 설계를 하면 된다. 이러한 형태는 결국 ATN over TCP/IP 의 형태가 되고, 이는 곧 X.25 over TCP/IP (XOT)의 형태와 같게 된다. 따라서, 여기서는 XOT 를 기반으로 한 4가지의 TCP/IP 적용방안을 제안할 수 있으며, 다음과 같다.

- ○ 항공기 게이트웨이를 이용한 방식

○ 지상 기반 게이트웨이를 이용한 방식

○ IP SNDCF 를 이용한 방식

○ TCP/IPv6 와의 상호동작 방식

(1) Airborne Gateway 를 통한 구현

이 모델에서는 항공기 네트워크가 IP 기반으로 구성되어 있다. 하지만, 지상 기반 응용 프로그램은 ATN 기반의 호환 가능한 방식이다. 즉, 항공기측은 TCP/IP위에 ATN 응용 프로그램이 올라가고, 지상 쪽은 TP4/CLNP 위에 ATN 응용 프로그램이 올라간다. <그림 3-10-6>은 이러한 모델을 보여준다. gateway 가 항공기에 탑재되어 있고, 그것은 Communication Management Unit (CMU)의 일부이며 따로 분리된 장비이다. 이러한 게이트웨이의 기능은 다음에 대한 역할을 한다.

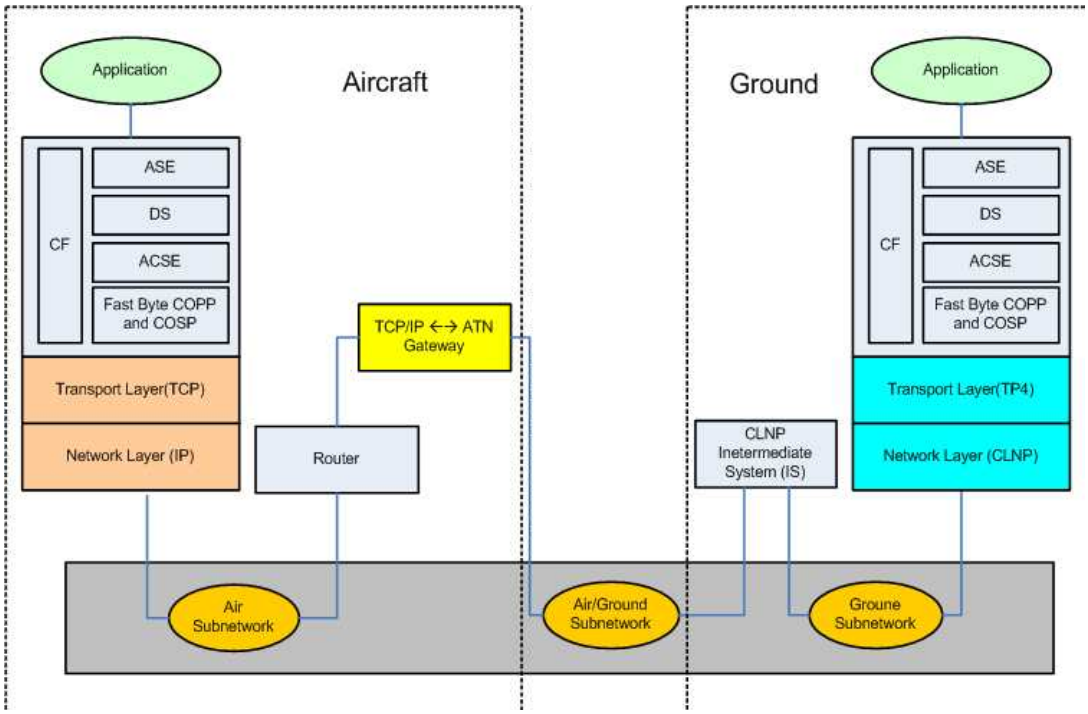
○ TCP/IP 와 TP4/CLNP 각각에 대한 terminating 장비이며, 각 연결에 맞게 프로토콜을 번역한다.

○ TCP 와 TP4 에 대한 termination point 를 관리한다. 즉, 각 프로토콜들이 수행하는 flow control 과 error control 등을 TCP 측 end-point 와 gateway, TP4 측 end point 와 gateway, 각 두개의 링크에 대해 수행한다.

○ 게이트웨이는 IP 도메인과 ATN 도메인 사이의 주소변환을 해야 한다. 주소변환 테이블을 게이트웨이 내에서 유지하면서, 주소변환을 수행하는 다른 외부서비스에 독립적으로 작동을 해야 한다.

<그림 3-10-6>은 Airborne 게이트웨이를 이용한 방식을 개략적으로 보여준다. 여기서, TCP/IP 와 ATN 의 변환을 수행하는 게이트웨이는 트랜스포트 계층 또는 Application 계층 에 구현되도록 해야 상위 ATN 과 하위의 TCP/IP 의 변환과정을 수행할 수 있다. 하지만 application 계층에서 이 기능이 구현될 경우, 구현하기는 수월하나 새로운 application 이 적용될 때마다 새로운 구현이 필요하고, 또한, application 레벨에서 변환에 필요한 주소 매핑 테이블이나, 기타 흐름제어, 에러제

어에 필요한 context 들을 유지, 관리해야하기 때문에 성능저하를 가져 올 수 있다. 따라서, 이 모델에서는 기본적으로 TCP/IP 와 ATN 의 변환과정을 수행하는 게이트웨이 기능은 트랜스포트 계층 에 맞게 설계되는 것으로 가정한다.



<그림 3-10-2-2> TCP/IP ⇔ TP4/CLNP (Airborne Gateway)

트랜스포트 계층 단에서 구현된 gateway 는 TP4/CLNP 연결을 최종단으로써 연결하고, 상위계층의 payload 를 TCP/IP 헤더를 붙여서 다른 쪽으로 연결하여 준다. 이 과정에서 ATN 주소와 IP 주소에 대한 변환이 이루어진다. application 은 게이트웨이를 볼 수 없고, 단지, application 데이터에 포함되어 있는 ATN NSAP[9] 만을 보기 때문에 application 은 어떠한 주소변환도 할 필요가 없다. 이 모델에서 역시 Mobiltiy, Security, QoS를 고려한다. 다음은 그에 대한 내용이다.

- ○ Mobility : gateway 가 항공기 내부에 존재하며, 항공기내에서의 네트워크에 연결되어 있기 때문에, TCP/IP 스택은 mobility 와 독립적이다. 즉, 게이트웨이의 외부 쪽에 있는 TP4/CLNP 가 ATN SARPs 에 따라 이를 제공한다.

9) Network Transport Access Point : ATN 에서의 IP 에 대응하는 네트워크 주소라고 보면 된다.

○ Security : 이는 상위 계층에서 담당하므로 TCP/IP와 상관없이 ATN SARPs 에 따라 제공된다.

○ QoS : 마찬가지로 ATN SARPs 에 따라 제공된다.

(가) XPORT Switch - ATN to TCP Interface

게이트웨이가 트랜스포트 계층에서 구현된다 하더라도, 항공기단에서의 ATN 상위 레이어가 TCP/IP 서비스를 사용하기 위한 인터페이스가 필요하다. 이것은 XPORT 스위치라 불리는 ATN to TCP/IP 인터페이스를 제공하는 논리적인 entity 이다. 이것을 적용하기 위한 다음과 같은 몇 가지 방법이 존재한다.

○ TP4 프리미티브들을 TCP/IP API 로 변환해주는 기능을 수행하는 방식.

○ TCP/IP API 와 유사한 소켓을 사용하여 TCP 와의 직접적인 인터페이스를 제공하는 방식

○ 상위레이어가 TCP/IP 의 프리미티브를 직접 사용해서 TCP와의 직접적인 인터페이스를 제공하는 방식. 이 방식은 이론적으로는 가능하지만 구현에 있어서 각 구현에 대한 코드를 수정해야하는 문제가 존재한다. <그림 3-10-7>은 XPORT 스위치가 어떻게 동작하는지를 보여준다. 이러한 XPORT Switch 는 다음과 같은 최소한의 기본동작을 수행한다.

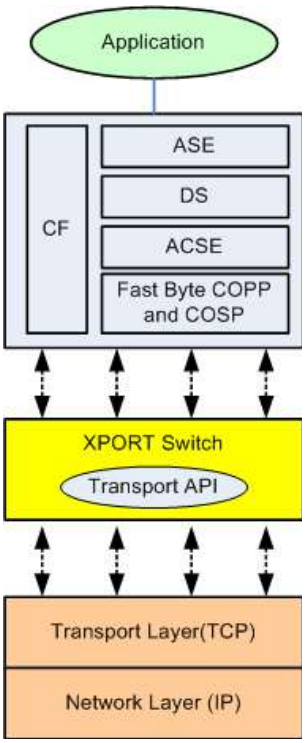
○ 상위 계층으로의 인터페이스 : XPORT 는 TP4가 제공하는 서비스를 위해 XPORT 상위 계층에 프리미티브들을 제공한다.

○ Address Translation : TCP/IP 와의 모든 상호 대화(interaction) 은 유효한 송신 IP와 수신 IP에 기반한다. 따라서, XPORT 는 전달되어 져 오는 정보들로부터 유요한 IP들을 끌어낼 수 있어야 한다.

○ Well-known Port Mapping : XPORT TP4 의 well-known TSEL 과 well-known TCP 포트를 서비스별로 매칭하여 구분할 수 있어야 한다.

○ Interface to TCP/IP : XPORT 는 Socket 이나 트랜스포트 계층 Interface (TLI) Application Programming Interface (API)를 사용하는 TCP서비스

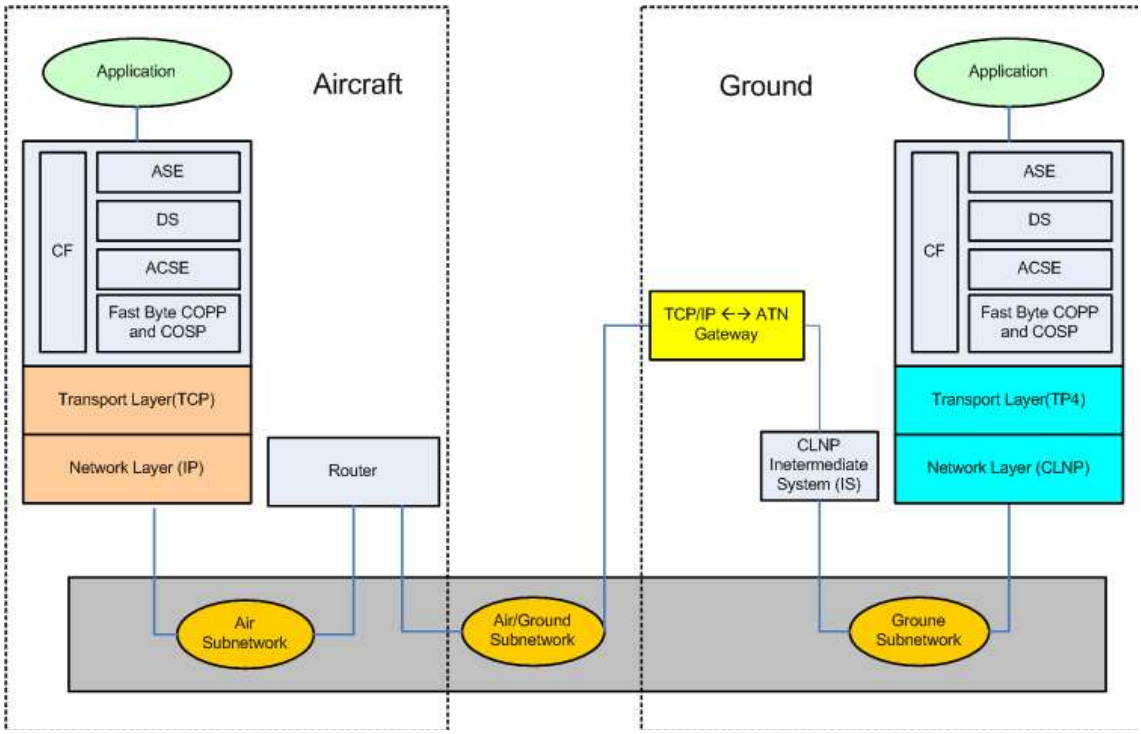
들을 요청, 사용할 수 있어야 한다.



<그림 3-10-2-3> XPORT Switch

(2) 지상 기반 게이트웨이를 이용하는 방식

이 모델에서는 항공기 네트워크가 IP 기반인 것을 가정한다. 지상 기반의 응용 프로그램들은 ATN의 서비스 하는 것과 같다. 항공기 측의 ATN 응용 프로그램은 TCP/IP 위에서 동작한다. 반면에 지상 측의 종단 시스템은 TP4/CLNP 기반이다. 이 모델 역시 게이트웨이 기능이 필요로 하며, 이 게이트웨이는 지상쪽에 위치한다. <그림 3-10-2-4>은 이 모델에 대한 간략화 된 구조를 보여준다. 지상 게이트웨이는 앞서 설명한 항공 게이트웨이와 같은 기능을 한다. 즉, ATN 와 TCP 에 대한 인터페이스를 제공한다.

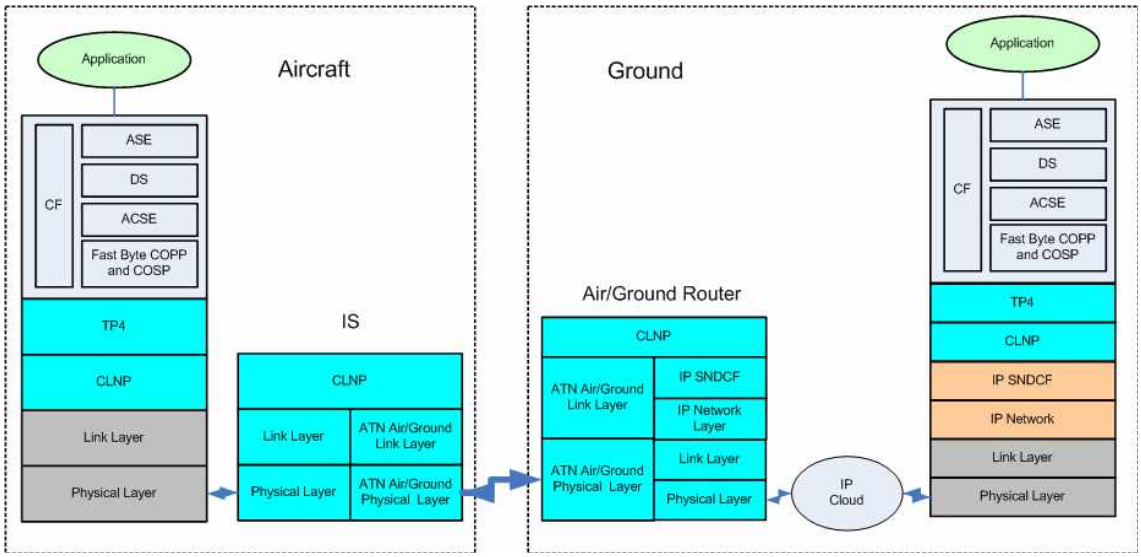


<그림 3-10-2-4> IP SNDCF

(3) IP SNDCF 를 이용하는 방식

이 모델에서는 CLNP 가 직접 IP 프로토콜 변환을 수행할 수 있도록 한다. 이를 위해서 IP SNDCF 계층[10] 가 필요한데, 이에 대한 전체적인 구조는 <그림 3-10-2-5>와 같다.

10) 서브네트워크 Dependent Convergence Function : ATN 의 데이터 링크 프로토콜에 의해 제공되는 서비스를 네트워크 계층에 매핑(mappling) 하는 기능을 하는 부계층이다. 즉, 데이터 링크와 네트워크 계층 각각에서 요구하는 조건의 차이를 조정해주는 역할을 한다.

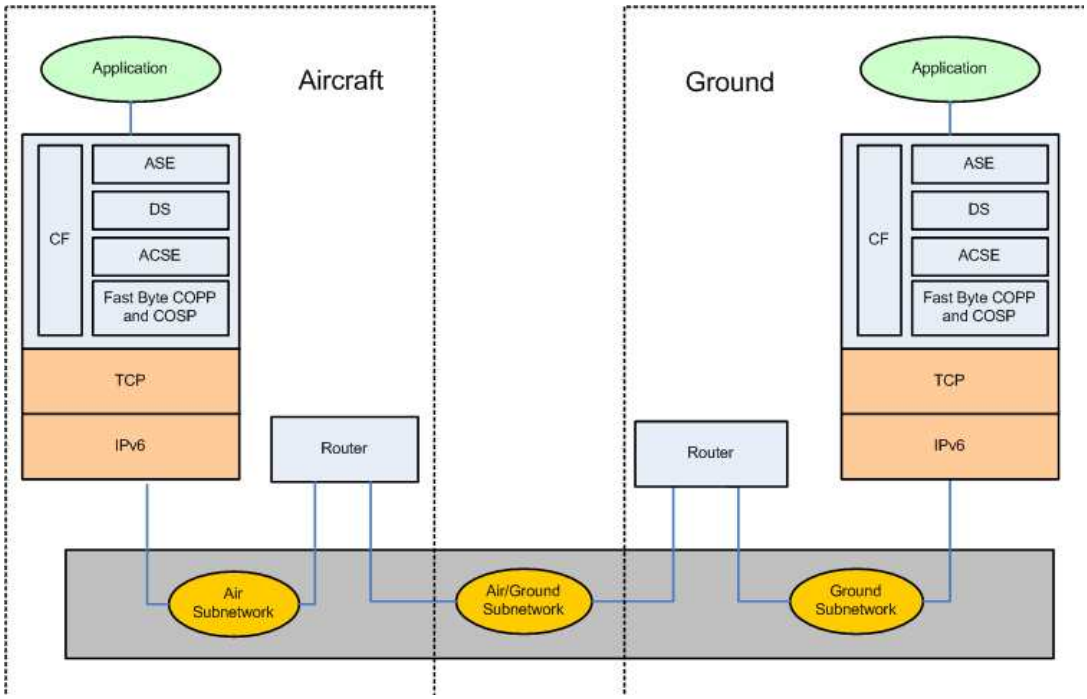


<그림 3-10-2-5> ATN over IPv6

<그림 3-10-2-5>에서와 같이 항공기는 ATN에서 정의한 그대로 동작하게 구성요소 또한 같다. 지상측 역시 대부분의 요소가 같은데, 단하나 다른 것은 IP네트워크와 연결될 경우 중간에 IP SNDCF 부계층이 삽입되고, 이 계층 IP 와 ATN의 CLNP 의 가교 역할을 하게 된다. 따라서, ATN application 들은 정의된대로 동작하게 되고, 그 자체는 TP4/CLNP stack을 그대로 인지하고, 이용하기 때문에 이 모델에서는 주소변환의 문제는 없다. 단점으로는 Ground 측의 stack 에서 보는바와 같이 IP SNDCF를 중심으로 같은 역할을 하는 TP4/CLNP 와 IP 가 중복되어 존재한다는 것 뿐이다. 결론적으로 SNDCF를 이용하는 방식이 현재 쉽게 구현될 수 있는 모델이다.

(4) TCP/IPv6 를 이용하는 방식

이 모델에서 항공기와 지상 네트워크가 IPv6를 기반으로 한다. <그림 3-10-2-6>은 이 방식에 대한 구조를 보여준다.



<그림 3-10-2-6> TCP/IPv6 를 그대로 사용하는 ATN 네트워크

여기서, 항공기와 지상측은 동일한 구조를 가지고, 그 하단에 TCP와 IPv6 가 아무 변환 없이 사용된다. 단, ATN 상위 계층과 TCP가 직접 연결하기 위해 앞서 설명한 XPORT 스위치를 사용한다. application 은 다른 변환 기능의 도움 없이 ATN NSAP 구조 내에서 IPv6 주소를 사용하여 전송할 수 있어야 한다. 이는 IPv6 의 주소 체계가 확장성이 크기 때문에 가능한 것이다. 이러한 IPv6 주소 적용을 위한 두 가지 방법이 존재한다.

- 모든 NSAP 주소들을 IPv6 주소로 대체한다. 따라서, 현재의 주소 체계를 IPv6 에 맞게 바꿔야 재정의 되어야 하며, IP 주소인지, ATN 주소인지에 대한 명확한 표시가 프로토콜 field 의 하나로 포함되어야 한다.

- ATN 응용 프로그램은 현재의 ATN 주소를 그대로 사용하는 대신에 특정 변환하는 기능을 구현하여 적용한다. 통상 이 기능은 응용 프로그램에 포함될 수 있도록 한다.

제 11 절 전파간섭영향 연구

1. VHF Data Radio의 구성

가. VDL Mode 2 물리 계층

물리 계층은 OSI-7 계층에서 가장 하층부를 담당하는 부분으로 신호의 전송에 대한 부분을 담당하고 상부의 Layer 2와의 인터페이스를 담당하는 역할을 한다. 물리 계층에서 담당하는 역할은 크게 2 가지로 생각해 볼 수 있다. 첫 번째 기능은 L2 Layer에서 받은 데이터를 인코딩하고 전송 매체를 통해 수신한 인코딩된 데이터를 일반 raw 데이터로 디코딩하는 데이터 코딩의 기능이다. 두 번째 기능은 서로 다른 전송 방식에 맞도록 신호를 변환하고 실제로 구동(송신/수신)하는 기능이다. 물리 계층은 데이터 링크 계층에서 비트 전송을 위해 active, maintain, de-active 연결을 위한 업무를 제공한다. 물리 계층에서 담당하는 업무는 다음과 같다.

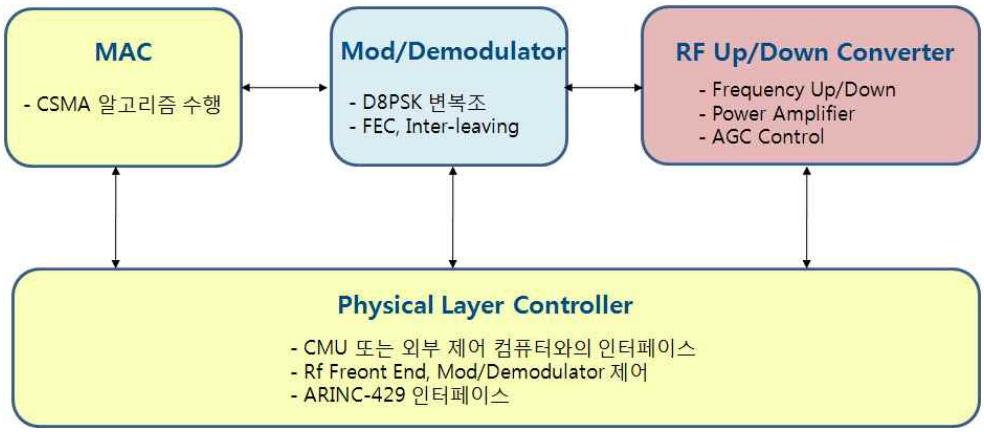
- ○ 송신 채널의 활동
- ○ 비트 동기화의 설립
- ○ 적절한 전파 시스템에 의한 물리 데이터 송신
- ○ 채널 상태 신호
- ○ Fault Condition Notification

Notification 업무는 위상 분산, 간섭, SNR 측정 등의 파라미터를 사용한 복조값을 구하는 과정과 신호 강도, 반송파 검파와 출력 등의 파라미터를 사용한 수신값을 구하는 과정에서 이루어진다.

나. VHF Data Radio 시스템의 구성

VDL Mode 2의 VHF Data Radio 시스템은 아래 그림에서 보여주는 내용과 같이 RF 상·하향 변환기와 변·복조기, MAC & 물리 계층 컨트롤러로 구성되어 있다. RF 상·하향 변환기는 Double Conversion 방식을 이용한 RF 주파수 상·하향 및 고출력 증폭기 등으로 구성된다. 변·복조기는 RF 상·하향 변환기로부터 455 kHz의 IF신호를 송·수신 받아 D8PSK 변·복조, 순방향 오류 정정 및 Inter-leaving의 기능

을 수행한다. MAC에서는 CSMA 방식을 통해 다중 접속을 가능케 하고 상기의 기능은 물리 계층 컨트롤러에 의해서 조정된다. 아래 표는 VDL Mode 2의 물리 계층 성능 요구 조건을 나타낸다[4],[5].



<그림 3-11-1-1> VHF Data Radio 시스템의 구성

<표 3-11-1-1> VDR 시스템의 물리 계층 성능 요구 조건

동조 주파수 대역	118~137 MHz VDB(VHF Data Broadcasting) 포함 : 108~137 MHz
변·복조 방식	D8PSK
채널 변경 시간	100ms 이내에 해당 채널에 동조
송신 전환 시간	◦ 2.75ms 이내에 동기화 시퀀스의 첫 번째 심벌의 중간 지점에 검출 ◦ MAC Persistance=1, 수신 신호 세기가 -98±2 dBm 이하로 떨어진 후
수신 전환 시간	송신 정보의 최종 심벌 전송 후 1.5ms 이내에 수신 신호 복조가 가능해야 함
채널 감지	MAC에서 CSMA 기능을 수행할 수 있도록 채널 감지 기능을 제공해야 함

2. VDL Mode 2 물리 계층 송신부

가. VDL Mode 2 송신부 요구 조건

VDL Mode 2 송신 장비는 송신기의 동작 범위와 채널 간격으로 등급이 정해지는데 본 연구의 경우 25 kHz의 채널 간격과 최대 200 마일의 동작 영역을 목표로 하기 때문에 Class 3으로 분류된다. Class 3의 VDL Mode 2 송신부 물리 계층 성능 요구 조건은 아래 표와 같다.

<표 3-11-2-1> 주파수에 따른 송신부 스퓨리어스 방사

주파수	대역폭	스퓨리어스 방사
9~150 kHz	1 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
150 kHz~30 MHz	10 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
30 MHz~108 MHz	100 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
108~117.5 MHz	100 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
117.5 MHz~117.8 MHz	10 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
137.175~137.475 MHz	100 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
137.475~1 GHz	100 kHz	0.25 uW(-36 dBm)
47 MHz~68 MHz	하모닉 제외	4 nW(-54 dBm)
88 MHz~108 MHz	하모닉 제외	4 nW(-54 dBm)
162 MHz~244 MHz	하모닉 제외	4 nW(-54 dBm)
328 MHz~336 MHz	하모닉 제외	4 nW(-54 dBm)
470 MHz~862 MHz	하모닉 제외	4 nW(-54 dBm)

<표 3-11-2-2> 인접채널 출력

구분	측정 대역폭	출력
첫 번째 인접채널	25 kHz	-18 dBm
두 번째 인접채널	25 kHz	-28 dBm
세 번째 인접채널	25 kHz	-28 dBm
네 번째 인접채널	25 kHz	-38 dBm

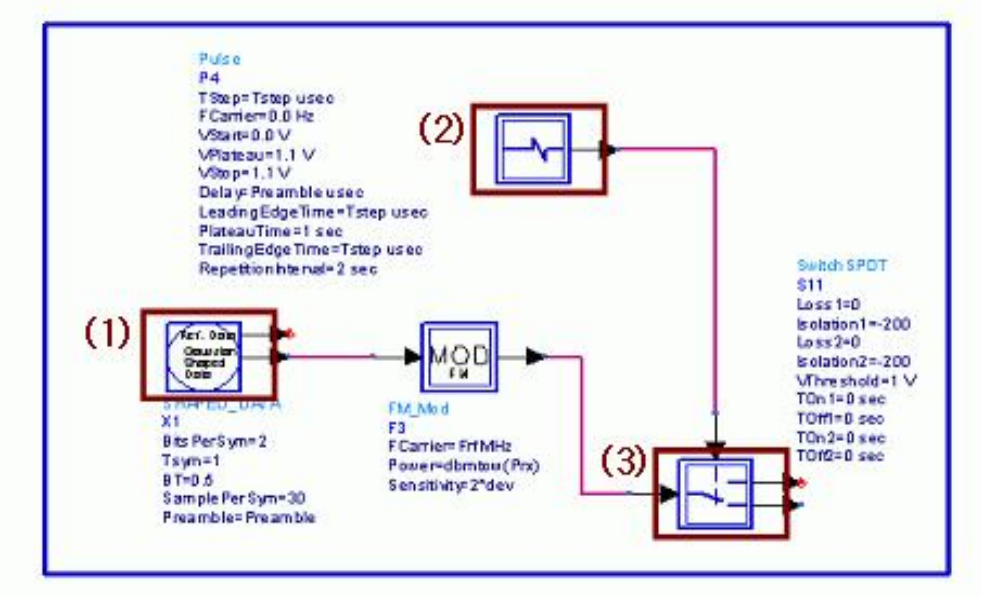
<표 3-11-2-3> 물리 계층 성능 요구 조건(송신부).

송신기 장비 등급	Class 3
채널 전송 속도	31.5 kbps±0.005%
송신 출력	15 Watt (42 dBm) 이상
스퓨리어스 방사 레벨	고조파 주파수들과 관련된 주파수에서 25mW (1.4dBm)을 초과해서는 안 된다.
주파수 정밀도	반송 주파수 정밀도 ±5ppm
안테나	◦ VSWR ⇒3:1 이하 ◦ 효율 ⇒수평면에서 평균 필드 세기는 6dB 이상. 최대 필드 세기와 최소 필드 세기 차이는 6 dB 미만.

본 절에서는 상기에 명시된 VDL Mode 2 항공용 초단파 데이터 송수신기 (AVDR : Aviation VHF Data Radio)와 지상용 초단파 데이터 송수신기 (GVDR : Ground Data Radio) 성능 요구 조건을 충족하도록 변조부와 주파수 상향 변환기를 설계하고, ADS의 Budget Simulation을 이용하여 설계된 시스템을 검증하고자 한다.

나. D8PSK Modulator

"Preamble"은 네트워크 통신에서 2 개 이상의 시스템 사이에 전송 시간을 동기화하기 위해 사용되고 통신 시스템이 이해할 수 있는 일련의 특정 송신 펄스를 정의한다. “Preamble"은 정보를 수신하고 있는 시스템이 언제 데이터 전송이 시작되는지를 파악하게 한다. 아래 그림은 Preamble 신호를 발생하는 회로를 ADS로 시뮬레이션 하기 위한 블록 다이어그램이다.

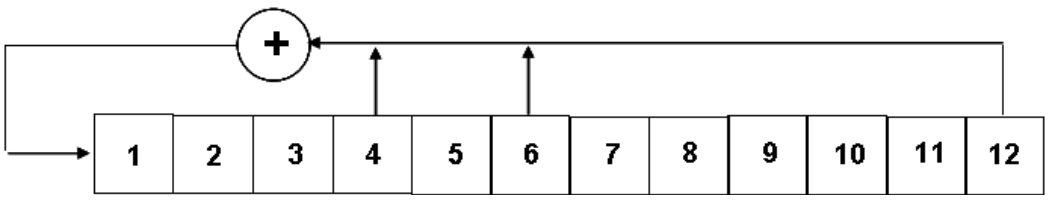


<그림 3-11-2-1> Preamble 신호 발생 기능을 ADS 시뮬레이션하기 위한 블록 다이어그램

VDL Mode 2에서 Preamble Bit를 생성하기 위한 LFSR(Linear Feedback Shift Register) 길이는 12이며, LFSR 길이가 12일 경우 코드 길이는 $2^{12}-1=4095$이다. 12-stage LFSR은 (1)의 SHAPED_DATA에서 구현되며 아래표는 12-stage로 구성할 수 있는 LFSR의 경우 수를 나타낸다. 본 보고서에서는 선택하였으며 구성된 LFSR은 아래 그림과 같다.

<표 3-11-2-4> 12-stage로 구성할 수 있는 LFSR

Number of Stages	Code Length	Maximal Taps
12	4095	[12, 6, 4, 1] [12, 9, 3,2] [12, 11, 10, 5, 2, 1] [12, 11, 6, 4, 2, 1] [12, 11, 9, 7, 6, 5] [12, 11, 9, 5, 3, 1] [12, 11, 9, 8, 7, 4] [12, 11, 9, 7, 6, 5] [12, 9, 8, 3, 2, 1] [12, 10, 9, 8, 6, 2]



아래 그림의 (1) SHAPED_DATA에서 발생된 Preamble 신호는 FM Modulator 에 의해서 FM 변조되고 출력은 $V_1(t)$와 같다. $V_1(t)$는 반송파에 대해서 동위상 성분과 90° 위상차를 갖는 성분으로 표현되며, (2)에서 발생하는 펄스 신호인 $V_2(t)$와 함께 (3)의 SwitchSPDT에 입력되어 $v_2(t) > V_{TH}$, $v_2(t) \le V_{TH}$ 각각의 경우에 따라 (3.3)과 (3.4)의 $V_3(t)$와 $V_4(t)$가 결정된다. $v_2(t) > V_{TH}$인 경우에는 SwitchSPDT의 Pin 4를 Pin 1에 연결하고, $v_2(t) \le V_{TH}$인 경우에는 Pin 3를 Pin 1에 연결한다.

$$V_1(t) = Re[v_1(t)e^{j2\pi f_o t}],\ \ v_1(t) = v_{I1}(t) + jv_{Q1}(t) \qquad (3\text{-}11\text{-}1)$$

$$V_2(t) : pulse\ signal \qquad (3\text{-}11\text{-}2)$$

$$V_3(t) = Re[v_3(t)e^{j2\pi f_{01} t}] \qquad (3\text{-}11\text{-}3)$$

$$V_4(t) = Re[v_4(t)e^{j2\pi f_{01} t}] \qquad (3\text{-}11\text{-}4)$$

1. $v_2(t) > V_{TH}$ (Pin 4를 Pin 1에 연결)

$$v_3(t) = \begin{cases} 10^{-\frac{ISO2}{20}} v_1(t) & t \ge T_s + Toff2 \\ (10^{-\frac{LOSS2}{20}} - 10^{\frac{ISO2}{20}})(1 - \dfrac{(t - T_s)}{Toff2}) v_1(t) + 10^{-\frac{ISO2}{20}} v_{1(t)} & otherwise \end{cases}$$

<수식 3-11-5>

$$v_4(t) = \begin{cases} 10^{-\frac{LOSS1}{20}} v_1(t) & t \ge T_S + Ton1 \\ (10^{-\frac{LOSS1}{20}} - 10^{\frac{ISO2}{20}})(1 - \dfrac{(t - T_s)}{Ton1}) v_1(t) + 10^{-\frac{ISO1}{20}} v_{1(t)} & otherwise \end{cases}$$

<수식 3-11-6>

2. $v_2(t) \le V_{TH}$ (Pin 3를 Pin 1에 연결)

$$v_3(t) = \begin{cases} 10^{-\frac{LOSS2}{20}} v_1(t) & t \geq T_S + Ton1 \\ (10^{-\frac{LOSS2}{20}} - 10^{\frac{ISO2}{20}})(1 - \frac{(t - T_s)}{Ton2}) v_1(t) + 10^{-\frac{ISO2}{20}} v_{1(t)} & otherwise \end{cases}$$

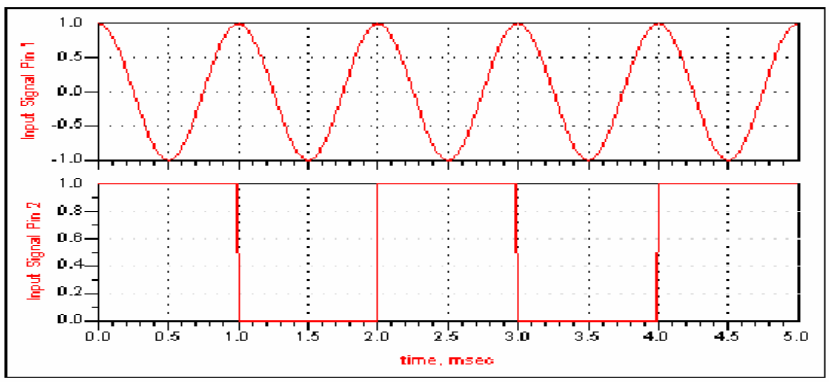
<수식 3-11-7>

$$v_4(t) = \begin{cases} 10^{-\frac{ISO1}{20}} v_1(t) & t \geq T_s + Toff1 \\ (10^{-\frac{LOSS1}{20}} - 10^{\frac{ISO1}{20}})(1 - \frac{(t - T_s)}{Toff1}) v_1(t) + 10^{-\frac{ISO1}{20}} v_{1(t)} & otherwise \end{cases}$$

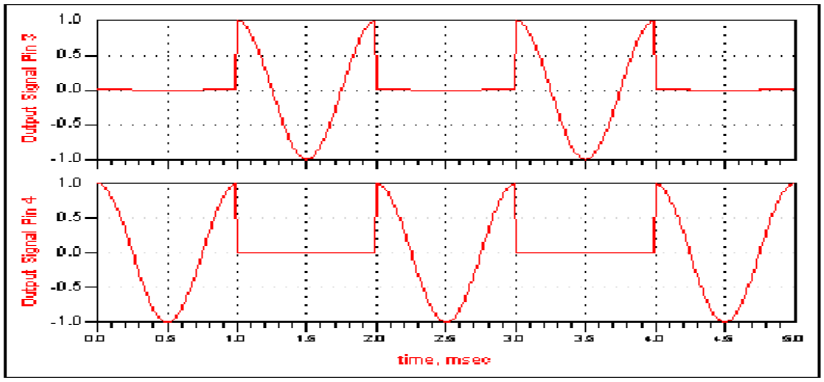
<수식 3-11-8>

ISO: $Isolation$, $LOSS$: $Insertion\ Loss$, T_s: $V_2(t)$가 V_{TH}를 초과하는 시간

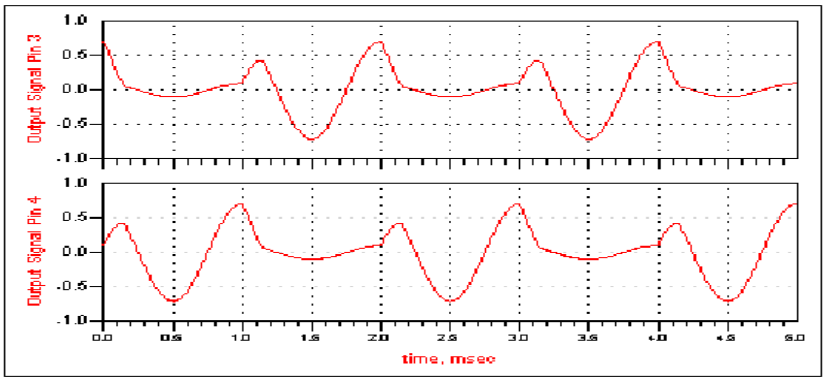
<그림 3-11-2-2>는 SwitchSPDT에 입력되는 (1)의 FM 변조된 Preamble 신호와 (2)의 펄스 신호 파형을 나타내고 <그림 3-11-2-3>은 손실이 발생하지 않고 격리도 특성이 좋은 이상적인 경우의 출력을 나타낸다. <그림 3-11-2-4>는 3dB 손실이 발생하고 격리도가 20 dB인 경우의 출력을 나타낸다.



<그림 3-11-2-2> SwitchSPDT의 입력 신호

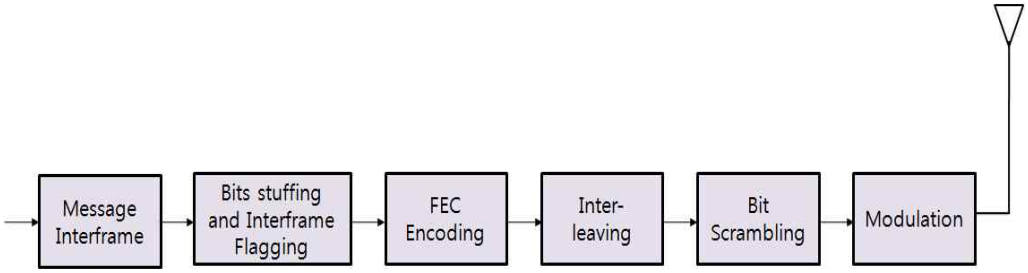


<그림 3-11-2-3> SwitchSPDT의 이상적인 출력 신호



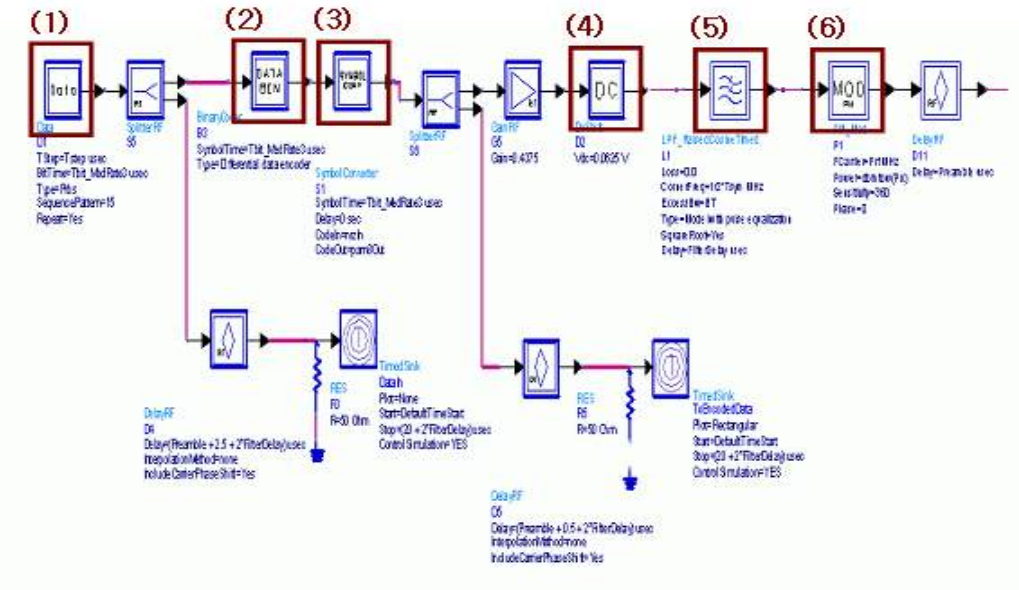
<그림 3-11-2-4> -3dB 손실이 발생하고 격리도가 20 dB인 경우의 SwtichSPDT 출력 신호

VDL Mode 2의 메시지는 <그림 3-11-2-5>의 블록 다이어그램을 통해 인코딩된다. VDL Mode 2 변조 방식인 D8PSK는 3 비트 정보를 8개의 위상들 중의 하나로 맵핑하거나 할당하기 위해서 Gray Coding 방식을 사용한다. Gray Coding 방식을 사용함으로써 3개의 비트에서 발생할 수 있는 에러를 한 개의 비트에서만 발생하게 한다.

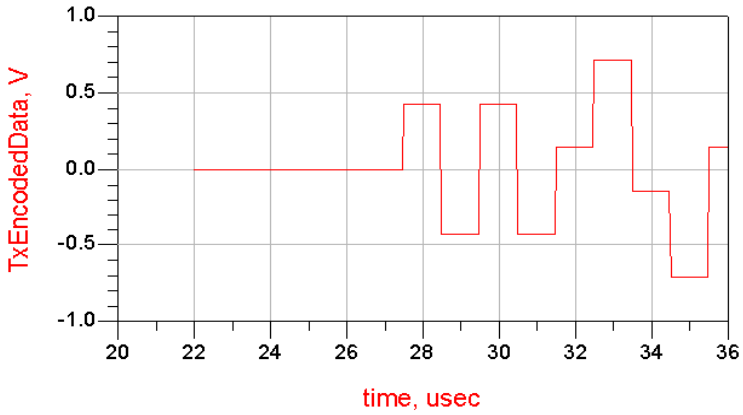


<그림 3-11-2-5> 메시지 인코딩 블록 다이어그램

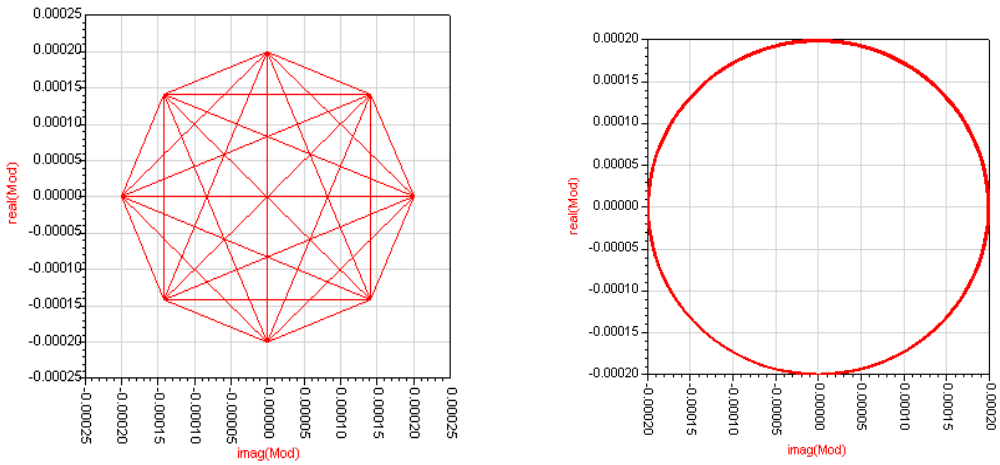
<그림 3-11-2-6>은 VDL Mode 2의 변조 회로도이다. (1)의 Data 소자는 NRZ(Non Return to Zero Format) 파형을 발생시키고 (2)의 Binary Data Coder 소자를 사용하여 2진 NRZ Pseudo-random Data를 차동적으로 인코드한다. <그림 3-11-2-7>는 인코딩된 데이터 파형을 나타낸다. (3)의 Symbol Converter를 이용하여 데이터를 8PAM(Pulse Amplitude Modulation) 심벌에 진폭 변조시킨 후에 (3비트/심벌) (4)의 소자를 이용해 Scaling과 Offset을 한다. 그 후에 PM 변조를 통해서 D8PSK 변조된 신호를 얻는다. 보통 사각 펄스 형태를 보내게 되면 채널 대역을 벗어난 부분이 인접 심벌을 왜곡하게 되어 심벌간 간섭이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 Raised-Cosine Filter를 이용하여 사각 필터를 채널 전송에 전절한 신호로 바꿔 전송한다. <그림 3-11-2-8>은 Raised-Cosine Filter 첨가 전·후의 변화를 나타내고 <그림 3-11-2-9>는 Raised-Cosine Filter의 Roll-off 특성에 따른 BER을 나타낸다. 따라서 10^{-3} BER을 충족시키기 위해서 Raised-Cosine Filter의 Roll-off 특성은 0.54보다 커야 한다. Roll-off 특성이 0.5일 경우에 D8PSK 변조부의 EVM은 0.027이다.



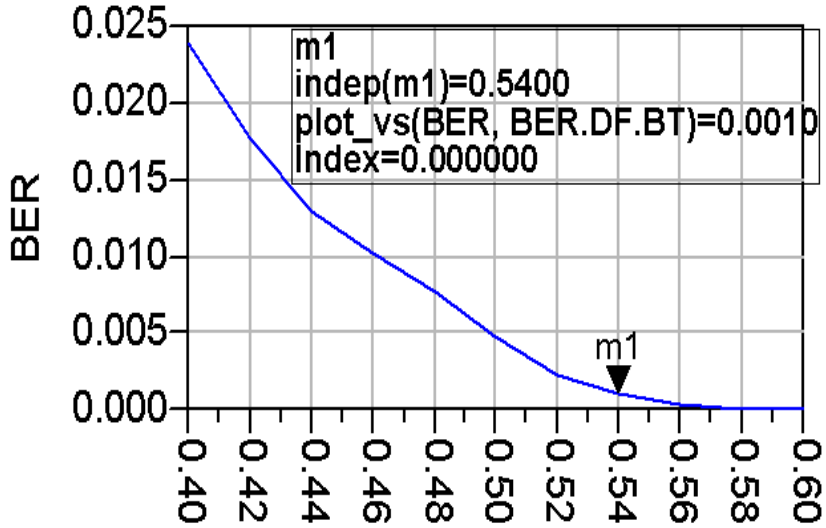
<그림 3-11-2-6> 변조 회로도.



<그림 3-11-2-7> 인코드된 데이터



<그림 3-11-2-8> 필터의 유무에 따른 D8PSK의 Constellation Diagram



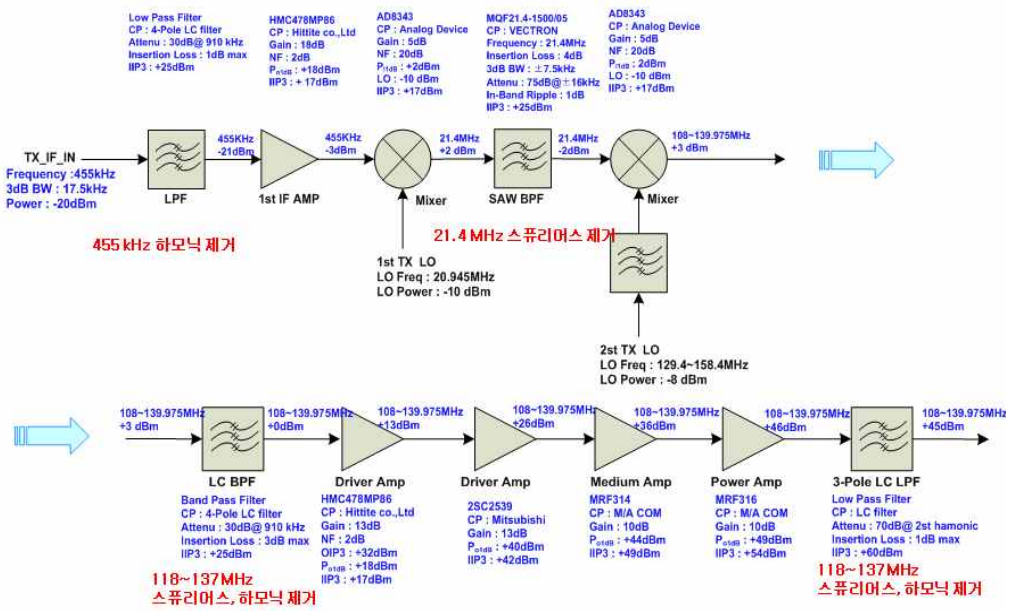
<그림 3-11-2-9> Raised Cosine Filter의 Roll-off factor에 따른 BER 변화.

다. 상향 변환기

송수신기를 구성하는 방법으로는 슈퍼헤테로다인 방식과 다이렉트 컨버전 방식이 있는데, 슈퍼헤테로다인 방식의 경우, 중간 주파수 (IF Frequency)를 이용하기 때문에 다이렉트 컨버전 방식에 비해 감도와 선택도가 좋고, 광대역에 걸쳐 선택도가 떨어지지 않고 충실도가 높아진다. 중간 주파수가 낮을수록 Q값이 낮은 필터로 채널 선택을 할 수 있으므로 선택도는 좋아진다. 반면에 원치 않는 신호의 제거가 어려워서 민감도가 나빠질 뿐만 아니라 RF 주파수 가까이에 영상 주파수가 발생해서 완벽히 제거하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 보고서에서는 2개의 IF 주파수를 이용하는 Double Conversion 방식을 이용하였다. LO 주파수에 따른 변환 방식의 장·단점을 <표 3-11-2-5>에 나타내었으며, 본 보고서에서는 HSLO 변환 방식을 사용하여 송신부를 구성하였다. <그림 3-11-2-10>은 455 kHz와 21.4 MHz의 중간 주파수를 사용하는 상향 변환기의 구성도이다.

<표 3-11-2-5> 상·하향 변환기 변환 방식의 장단점

변환 방식	장점	단점
HSLO 상향 변환	◦ Spurious 해결이 쉽다. ◦ 구조가 간단해서 가격이 싸고 쉽다.	◦ 동작 영역이 줄어든다. ◦ 에너지 분산이 생긴다. ◦ IMD의 영향을 많이 받는다.
LSLO 상향 변환	◦ IF/Image 억압이 잘된다.	◦ 안테나로의 누설 우려가 있다. ◦ IF 주파수를 높게 잡아야 한다.
HSLO 하향 변환	◦ LO와 RF 하모닉의 영향이 거의 없다.	◦ Image Rejection이 필요하다. ◦ 수신기가 복잡해진다.
LSLO 하향 변환	HSLO 하향 변환과 유사	



<그림 3-11-2-10> 상향 변환기 구성도

<그림 3-11-2-11>~<그림 3-11-2-15>는 설계된 상향 변환기의 각각의 노드에서의 출력 결과를 나타낸다. -20 dBm의 455 kHz 중간 주파수가 입력될 경우, 전체 시스템의 총 이득은 65 dB이며, 송신 출력 전력은 45 dBm으로 VDL Mode 2 운영을 위해 필요한 송신 출력 16 Watt(42 dBm)를 상회한다. 또한 시스템의 전체 잡음지수는 5.04 dB이며, 선형성을 나타내는 지표인 IIP3는 <그림 3-11-2-15>과

같다. <그림 3-11-2-15>는 각각의 노드에서의 CIMD($\frac{2}{3}DR$(Dynamic Range)=출력 전력-IM3 전력 : 선형성이 제일 좋은 구간) 값을 나타낸다. <그림 3-11-2-17>은 25 kHz 채널 간격만큼 떨어진 첫 번째 인접 채널 신호가 같이 인가되었을 경우 주파수 응답을 나타내고, 첫 번째 인접채널 신호 출력은 -62 dBm으로 -18 dBm보다 작은 출력 신호를 방사하는 것을 확인할 수 있다.

Gain_IF_In<invalid>	Gain_Mix_In	Gain_Mix1_in	Gain_Mix2_In	Gain_Fil2_Out
	22.00	18.00	23.00	20.00

Gain_Amp2_Out	Gain_Amp3_Out	Gain_Amp4_Out	Gain_Amp5_Out	Gain_RF_Out
33.00	46.00	56.00	66.00	65.00

<그림 3-11-2-11> 각각의 노드에서의 이득.

IF_In_dBm	Mix_In_dBm	Mix1_in_dBm	Mix2_In_dBm	Fil2_Out_dBm
-20.00	2.00	-2.00	3.00	0.00

Amp2_Out_dBm	Amp3_Out_dBm	Amp4_Out_dBm	Amp5_Out_dBm	RF_Out_dBm
13.00	26.00	36.00	46.00	45.00

<그림 3-11-2-12> 각각의 노드에서의 출력 전력

NF_IF_In<invalid>	NF_Mix_In	NF_Mix1_in	NF_Mix2_In	NF_Fil2_Out
	2.000	2.026	5.002	5.008

NF_Amp2_Out	NF_Amp3_Out	NF_Amp4_Out	NF_Amp5_Out	NF_RF_Out
5.038	5.040	5.040	5.040	5.040

<그림 3-11-2-13> 각각의 노드에서의 잡음지수.

IIP3_IF_In<invalid>	IIP3_Mix_In	IIP3_Mix1_in	IIP3_Mix2_In	IIP3_Fil2_Out
	17.00	2.83	-2.50	-3.82

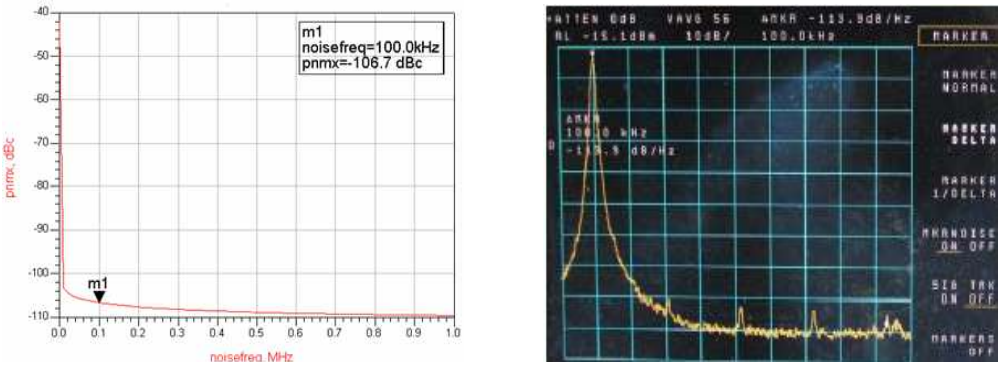
IIP3_Amp2_Out	IIP3_Amp3_Out	IIP3_Amp4_Out	IIP3_Amp5_Out	IIP3_RF_Out
-6.44	-6.56	-7.02	-8.21	-10.25

<그림 3-11-2-14> 각각의 노드에서의 IIP3.

IF_In_CIMD<invalid>	Mix_In_CIMD	Mix1_in_CIMD	Mix2_In_CIMD	Fil2_Out_CIMD
	132.344	164.106	112.628	1.340

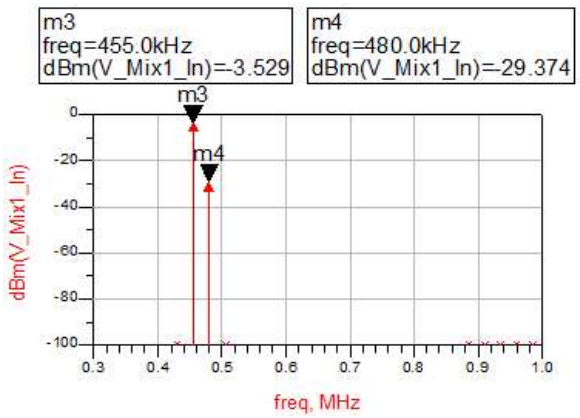
Amp2_Out_dBm	Amp3_Out_dBm	Amp4_Out_dBm	Amp5_Out_dBm	RF_Out_dBm
112.580	112.531	112.517	112.490	112.490

<그림 3-11-2-15> 각각의 노드에서의 CIMD



(a) 국부 발진기의 위상잡음 시뮬레이션 결과 (b)국부 발진기의 위상잡음 측정 결과

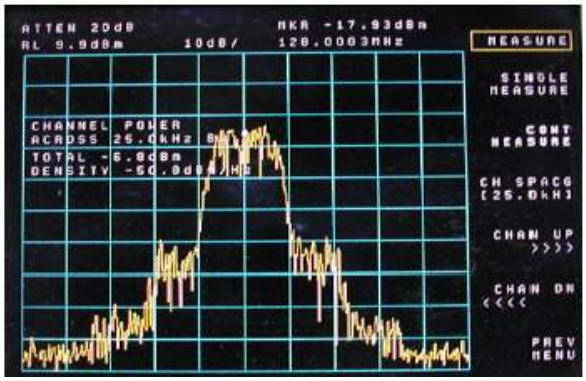
<그림 3-11-2-16> 국부 발진기의 위상 잡음



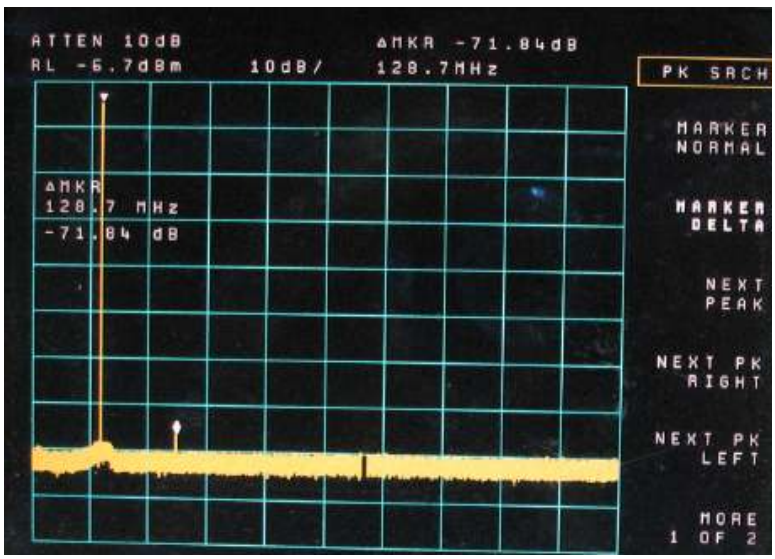
<그림 3-11-2-17> 최종 출력

<그림 3-11-2-18>은 D8PSK 변조된 신호의 송신출력 측정결과를 나타낸다. 측정 시에 50 dB 감쇄기를 사용하였기 때문에 최종 출력 신호는 43.2 dBm(-6.8 dBm+50 dB)의 출력을 갖는다. <그림 3-11-2-19>는 10 MHz~1 GHz까지의 VDL Mode 2 상향 변조기의 스퓨리어스 방사 특성을 측정한 결과로서, 주파수 대역에 따른 스퓨리어스 방사 전력보다 낮게 나옴으로써 요구 조건을 충족시키는 것을 확

인할 수 있다.



<그림 3-11-2-18> 송신 모드에서의
스퓨리어스 방사 측정 결과



<그림 3-11-2-19> 송신 모드에서의 스퓨리어스 방사 측정 결과

3. VDL Mode 2 물리 계층 수신부

가. VDL Mode 2 수신부 요구 조건

VDL Mode 2의 수신기 장비 역시 송신기와 마찬가지로 Class 3으로 분류되며, Class 3의 VDL Mode 2의 수신부 물리 계층 성능 요구 조건은 다음과 같다. 본 장에서는 아래 표에 명시된 VDL Mode 2 물리 계층 성능 요구 조건(수신부)을 충족시키는 D8PSK 복조부와 하향 변환기를 설계하고, 항공 통신에 큰 영향을 끼칠 수 있는 FM 방송 주파수와의 간섭 영향을 분석하고자 한다.

<표 3-11-3-1> 물리 계층 성능 요구 조건(수신부)

수신부 동작영역	-98 ~ -7 dBm @10^{-3} BER
최대 입력 신호	+20 dBm 이하에서 송·수신 장치는 손상을 입지 않는다.
동일 채널 간섭	동일 채널에 기준 신호 레벨(-87 dBm)의 수신 신호와 이 레벨보다 20 dB 작은 신호가 인가되어도 10^{-3} BER을 만족해야 한다.
수신 모드에서 스퓨리어스 방사	108~137 MHz : -64 dBm 이하 50 kHz~1215 MHz : -57 dBm 이하(VHF 항공대역 제외)
FM 방송 주파수에 의한 Inter-modulation	87.5~107.9 MHz 대역에서 -5 dBm의 크기를 갖는 2개의 비변조 간섭신호가 동시에 인가될 때, 기준 신호 레벨(-87 dBm)에서 10^{-3} BER을 유지해야 한다.

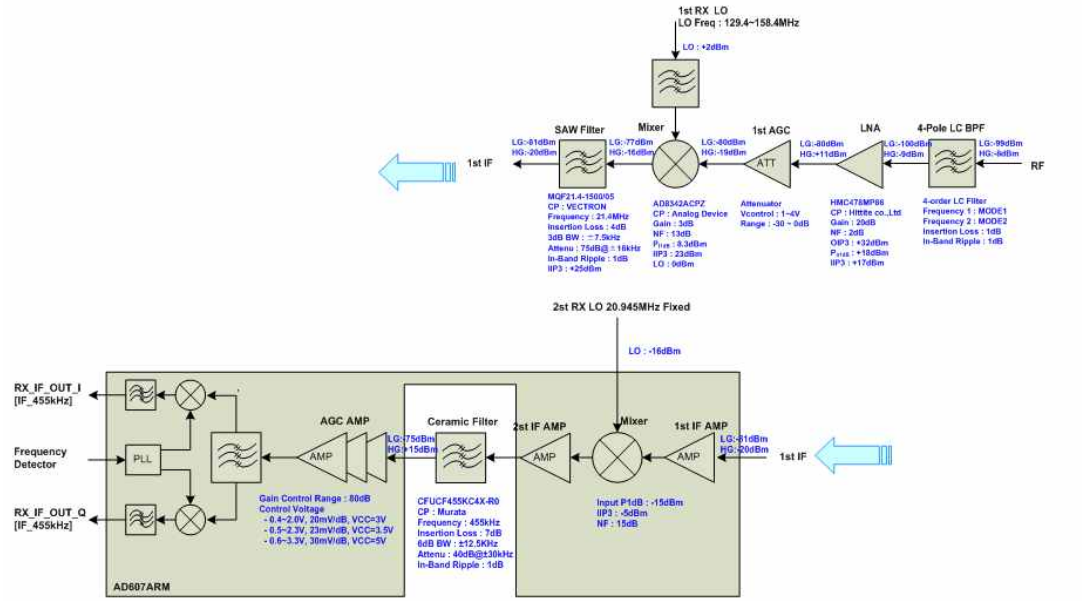
<표 3-11-3-2> 대역에 포함된 신호에 의한 혼변조(수신부)

수신 신호	신호크기 : -75 dBm, 변조방식 : D8PSK
원하지 않는 신호 1	신호크기 : -32 dBm, 변조방식 : 무 변조 주파수 : 시험 채널 ±1 MHz
원하지 않는 신호 2	신호크기 : -32 dBm, 변조방식 : D8PSK 주파수 : 시험채널 ±2MHz

	수신신호(f1)	원하지 않는 신호(f2)	원하지 않는 신호(f3)
주파수	120 MHz	121 MHz	122 MHz
고조파	2f1=240 MHz	2f2=242 MHz	2f3=244 MHz
	3f1=360 MHz	3f2=363 MHz	3f3=366 MHz
2차 혼 변조	f1+f2=241 MHz	f1+f3=242 MHz	f2+f3=243 MHz
3차 혼 변조	2f1+f2=361 MHz f1+2f2=362 MHz 2f1-f2=119 MHz f1-2f2=122 MHz	2f1+f3=362 MHz f1+2f3=364 MHz 2f1-f3=118 MHz f1-2f3=124 MHz	2f2+f3=364 MHz f2+2f3=365 MHz 2f2-f3=120 MHz f2-2f3=123 MHz

나. 하향 변환기

RF 입력단의 대역통과 필터, 격리도 특성이 좋은 믹서 그리고 잡음 지수가 작고 선형성이 좋은 LNA를 이용하여 항공 주파수 대역 이외의 간섭 신호를 제거하였고, AGC 증폭기를 사용하여 수신부 동작영역(-98 ~ -7 dBm)에서 동작하도록 회로를 설계하였다. 하향 변환기의 구성은 <그림 3-11-3-1>과 같고 <그림 3-11-3-2>는 제작된 상·하향 변환기를 보여주는 사진이다.



<그림 3-11-3-1> VDL Mode 2의 하향 변환기 구성도



<그림 3-11-3-2> VDL Mode 2의 상·하향 변환기

하향 변환기의 전체 이득은 17 dB이고 잡음지수는 4.5 dB, 각각의 노드에서 이득과 잡음지수는 아래 그림에서 각각 보여주고 있다. 그리고 IIP3는 <그림 3-11-3-5>와 같다. (3-11-1)을 이용하여 계산된 최종 출력 전력은 -81 dBm으로 4-1절의 수신 요구 조건(-98 ~ -7 dBm)을 충족시킨다. 또한 (3-11-2)를 이용하여 계산된 잡음 신호는 -108.52 dBm이다. 신호 대 잡음비 계산을 위해

(3-11-.1)~(3-11-3)을 이용하여 신호 전력과 잡음 전력을 계산한다. (3-11-1)은 총 신호 전력을 계산하는 식이고, 총 잡음 전력은 (3-11-3)으로 계산한다. 수신 신스템의 잡음지수를 계산하기 위해 유명한 식(3-11-4)를 이용한다.

$$\text{Signal Power(초기값)} + \text{Gain(Total)} = \text{Signal Power(Total)} \qquad (3\text{-}11\text{-}1)$$

$$\text{Input Noise Power} = 10\log kT^{*}1000 + 10\log BW \ [\text{dBm}] \qquad (3\text{-}11\text{-}2)$$

$$\text{Noise Power} = \text{Input Noise Power} + \text{Stage Gain} + \text{NF} \qquad (3\text{-}11\text{-}3)$$

$$NF = NF1 + \frac{(NF2-1)}{G1} + \frac{(NF3-1)}{G1^{*}G2} + \frac{NF4-1)}{G1^{*}G2^{*}G3} + \cdots \qquad (3\text{-}11\text{-}4)$$

Gain_RF_TP1<invalid>	Gain_RF_TP2	Gain_1st_IF1	Gain_1st_IF2
	18	21	17

<그림 3-11-3-3> 각각의 노드에서의 이득

.

NF_RF_TP1<invalid>	NF_RF_TP2	NF_1st_IF1	NF_1st_IF2
	4	4.491	4.509

<그림 3-11-3-4> 각각의 노드에서의 잡음지수

IIP3_RF_TP1_dBm	IIP3_RF_TP2_dBm	IIP3_1st_IF1	IIP3_1st_IF2
	19	4.83	-11.11

<그림 3-11-3-5> 각각의 노드에서의 IIP3

RF_TP1_dBm	RF_TP2_dBm	1st_IF1	1st_IF2
-98	-80	-77	-81

<그림 3-11-3-6> 최소 신호가 인가되었을 때 출력 전력

RF_TP1_dBm	RF_TP2_dBm	1st_IF1	1st_IF2
-7	11	14	10

<그림 3-11-3-7> 최대 신호가 인가되었을 때 출력 전력

Noise_RF_TP1_dBm	Noise_TP2_dBm	Noise_1st_IF1	Noise_1st_IF2
-130.03	-108.03	-104.54	-108.52

<그림 3-11-3-8> 각각의 노드에서의 잡음 신호

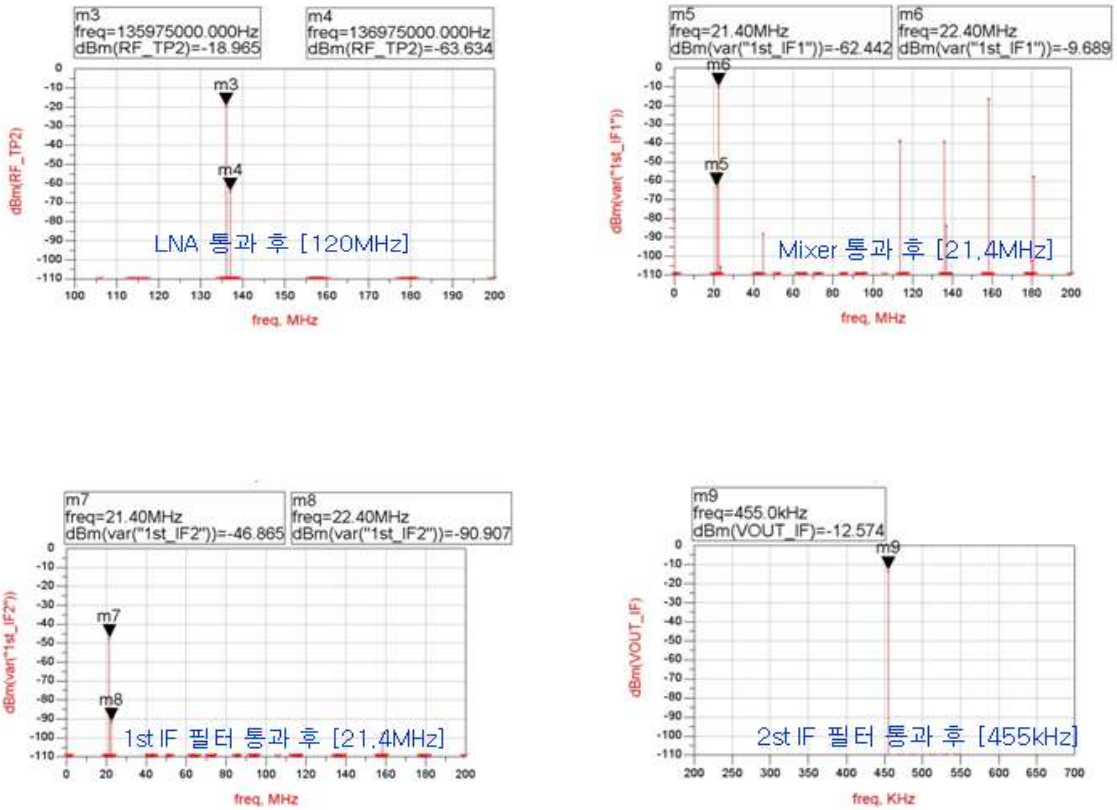
- 대역에 포함된 신호에 의한 혼 변조

  : 아래의 신호가 인가되어도 10^{-3}BER을 만족해야 한다.

수신 신호	신호크기 : -75 dBm, 변조방식 : D8PSK
원하지 않는 신호 1	신호크기 : -32 dBm, 변조방식 : 무 변조 주파수 : 시험 채널 ±1 MHz
원하지 않는 신호 2	신호크기 : -32 dBm, 변조방식 : D8PSK 주파수 : 시험 채널 ±2 MHz

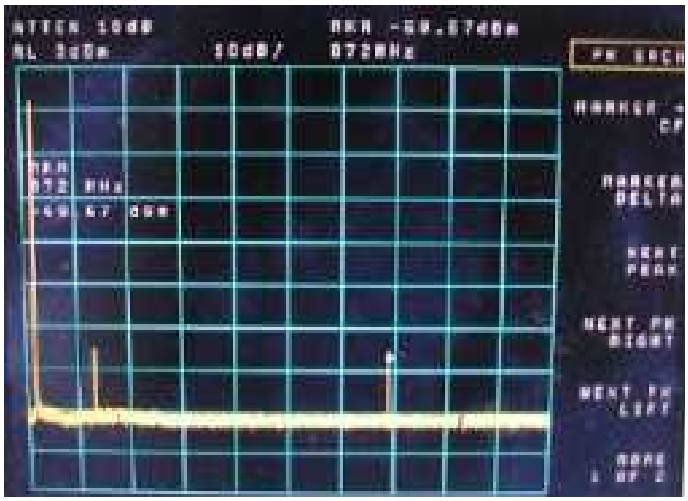
입력신호원이 -75 dBm의 세기를 갖는 136.975 MHz의 변조된 신호와 -32 dBm의 세기를 갖는 135.975 MHz의 무 변조 신호가 인가됐을 경우와 D8PSK로 변조된 ±2 MHz의 채널이 인가되었을 경우 혼변조 영향을 받는다. 아래 그림에서] 에서는 두 신호 모두 증폭되어 나타나지만 믹서와 필터 특성에 의해서 무 변조된 신호에 의해 발생하는 성분들은 억압된다. 두 번째 필터를 통과한 후에는 2차 중간 주파수인 455 kHz만 발생하고 하향 변환기에서 사용하는 중간 주파수에 영향을 끼치지 않는 것을 확인할 수 있다. 원하지 않는 신호 1을 인가했을 경우 측정결과이고 원하지 않는 신호 2를 인가했을 경우 측정결과이다. 첫 번째 측정 결과는 중간 주파수는 약 -60 dBm의 세기를 갖고 1 MHz 떨어진 곳에서 약 -30 dB의 세기 차이가 존재한다. 두 번째 측정 결과에서 역시 중간 주파수는 약 -60 dBm의 세기를 갖고 2 MHz 떨어진 곳에서 -35dB의 신호 차이가 존재하기 때문에 중간 주파수에 영향을 미치지 않으며 10^{-3}BER을 충족 시킬 수 있는 신호 세기를 발생함을 알 수

있다.



<그림 3-11-3-9> 대역에 포함된 신호에 의한 혼변조 시뮬레이션 결과

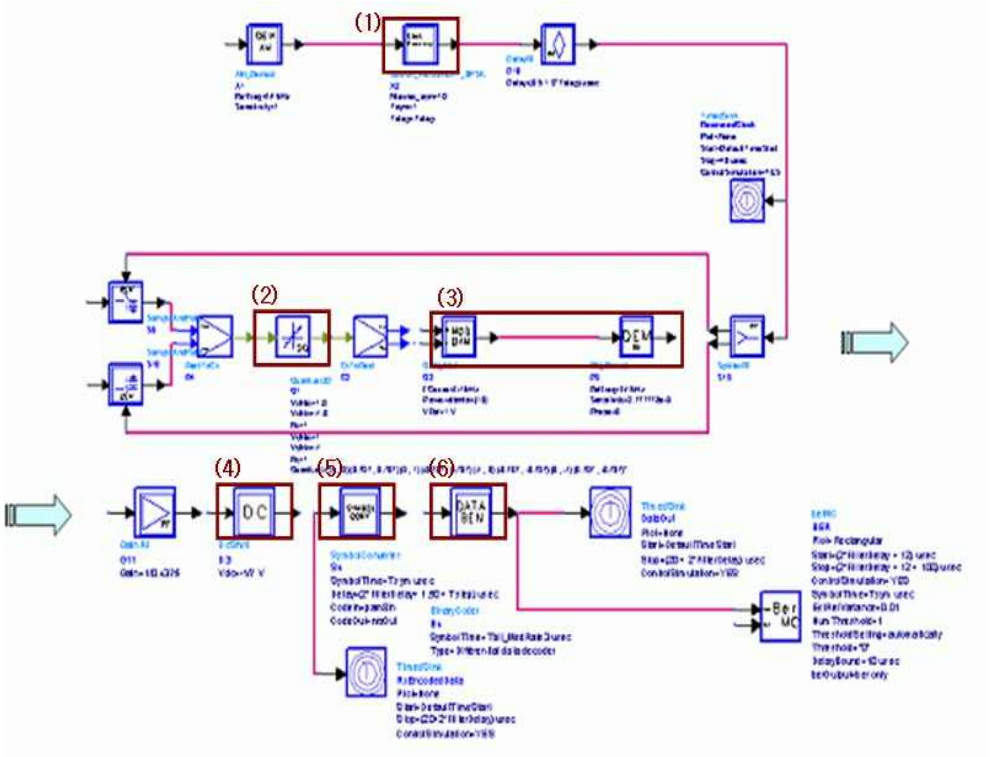
<그림 3-11-3-10>은 10 MHz~1GHz 대역까지 수신 모드에서 스퓨리어스 방사 특성을 측정한 결과이다. 128 MHz에서 -8dBm이었으며, VHF항공 대역이외의 대역(256 MHz : -65 dBm, 744 MHz : -68 dBm)에서는 -57 dBm 이하로 스퓨리어스 방사 조건을 만족함을 알 수 있다.



<그림 3-11-3-10> 수신 모드에서 스퓨리어스 방사 측정 결과

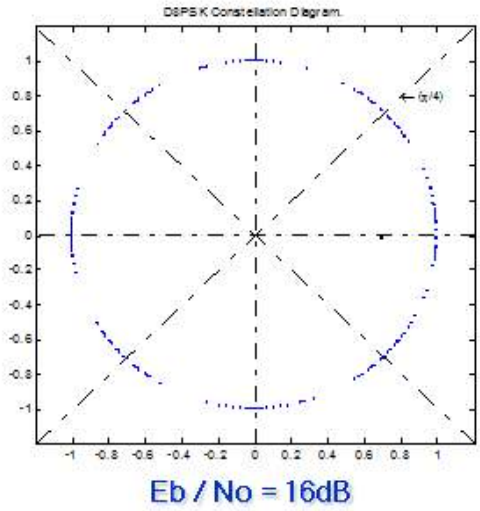
다. D8PSK 복조기

아래 그림은 ADS 시뮬레이션을 하기 위한 D8PSK 복조 회로를 나타낸다. Clock 8PSK Recovery 소자에서 Training Sequence는 DC 레벨 값을 찾은 후에 Clock 신호를 복원하고 수신하고 있는 데이터를 동기화하기 위해 사용되었다. Raised Cosine Filter를 거친 입력 신호 $V_1(t)$와 Clock 신호 $V_2(t)$가 (2)의 Sample And Hold 소자에 입력되면 입력 신호는 각각의 Clock 신호의 Rising Edge에 샘플되고, 출력 전압은 일정한 비율로 감소하게 된다. 그리고 Quantizer 2D에 입력된 신호는 가장 가까운 출력 지점에 맵핑된다. 또한 블록 코드는 1 비트 오류들을 정정하고 검파할 수 있는 능력이 있지만, 발생 가능한 2 비트 오류의 25%는 정정하지 못 한다. 비트 오류를 보완하기 위해 순방향 오류 정정(Forward Error Correction) 기법으로 Lightweight Reed-Solomon code 방식을 사용하였다.

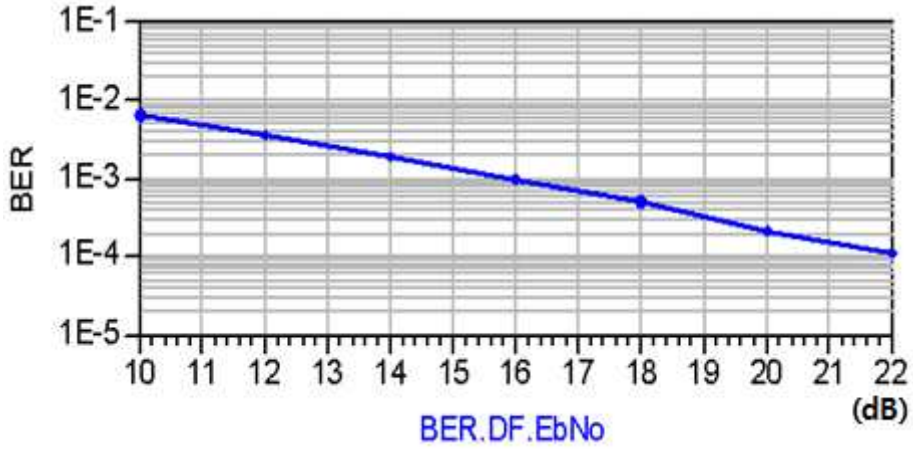


<그림 3-11-3-11> D8PSK 복조 회로도.

아래 그림들은 D8PSK 복조 신호의 E_b/N_0에 따른 BER 커브를 나타내며, 10^{-3}의 BER을 충족시키는 E_b/N_0의 값은 16 dB이다. 따라서 향상된 BER 값을 갖기 위해서 E_b/N_0는 16 dB 보다 크게 설계되어야 한다.



<그림 3-11-3-12> $E_b/N_o = 16$ dB 일 경우
Eye Diagram



<그림 3-11-3-13> E_b/N_0에 따른 BER

-98 ~ -7 dBm의 수신 신호가 인가되었을 때 10^{-3} BER을 충족시켜야한다. 아래표와 식(4.5)를 이용하여 계산된 최소 및 최대 신호 대 잡음비는 <표 3-11-3-3>, <표 3-11-3-4>에서 보여준다. 아래 그림는 신호 대 잡음비가 20 dB일 경우 신호 대 잡음비가 27.5 dB이므로 최소 신호가 인가되더라도 10^{-3} BER을 만족하는 것을 확인할 수 있다. <그림 3-11-3-14> 제작된 D8PSK 변·복조기의 사진과 측정 결과이다.

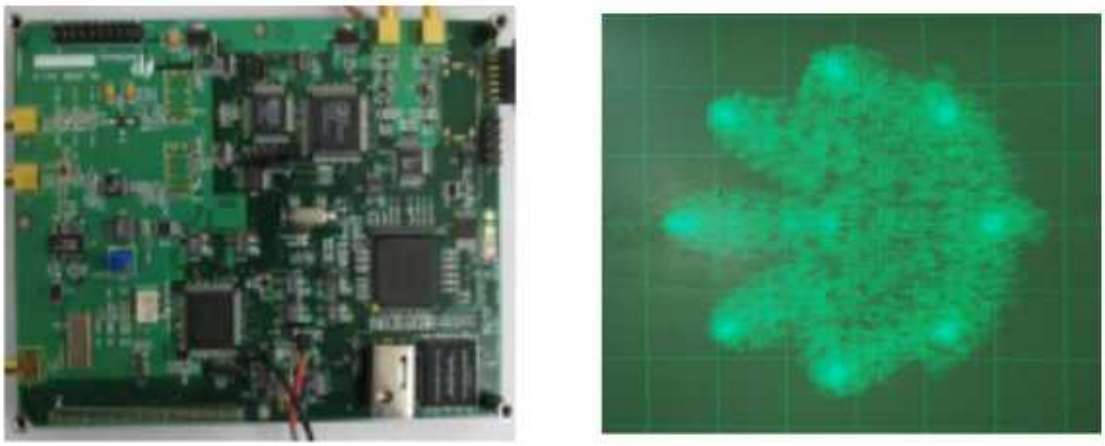
$$S/N(\text{초기값}) - NF(\text{전체}) = S/N(\text{전체}) \qquad (4.5)$$

<표 3-11-3-3> 수신기에 최소 신호(-98 dBm)가 인가될 경우 신호 대 잡음비

S/N_RF_TP1	S/N_TP2	S/N_1st_IF1	S/N_1st_IF2
32.03	28.03	27.54	27.52

<표 3-11-3-4> 수신기에 최대 신호(-7 dBm)가 인가될 경우 신호 대 잡음비

S/N_RF_TP1	S/N_TP2	S/N_1st_IF1	S/N_1st_IF2
123.03	120.02	119.41	119.39



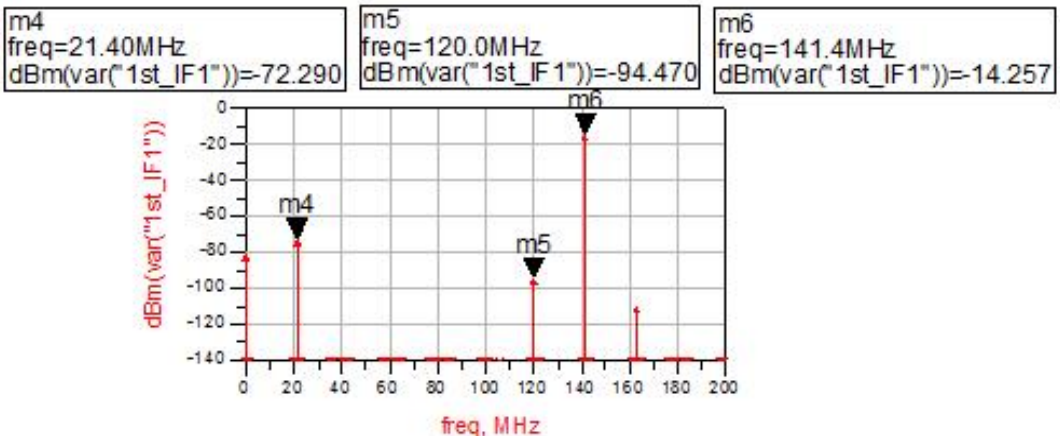
<그림 3-11-3-14> 제작된 D8PSK 변·복조기 측정화면

라. FM 방송 주파수에 의한 혼변조

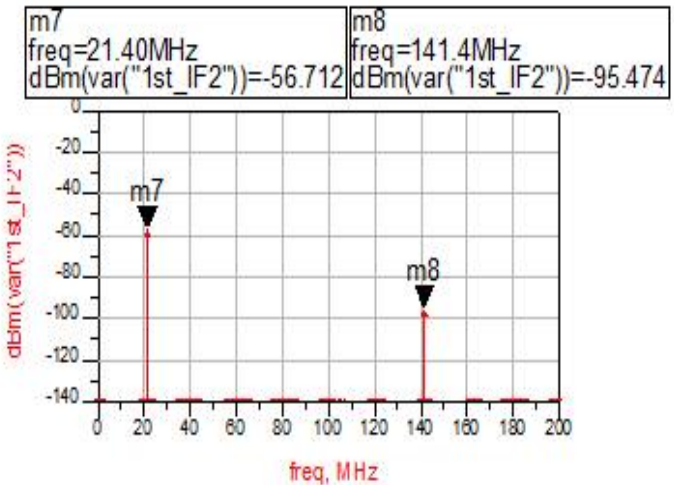
기존의 FM 방송은 87.5~107.9 MHz 주파수 대역에서 500 W~2 kW로 송신한다. 항공 이동 통신에 사용되는 VHF 대역은 FM 방송 주파수 대역과 매우 가까이에 있기 때문에, FM 방송의 큰 송신 출력은 항공 이동 통신에 전파 간섭을 초래할 수 있다. 본 절에서는 FM 방송 주파수에 의한 혼변조 효과를 알아보고자 한다. 최소 운용 성능 표준을 보면, -75 dBm의 D8PSK 변조된 신호가 수신될 때, -5 dBm의 FM 방송 주파수가 수신기에 인가되더라도 10^{-3} BER을 만족해야 한다. <그림 3-11-3-17>은 상기의 상황 하에서 스퓨리어스 응답을 보인다. -5 dB의 FM 방송 주파수 신호가 수신기에 인가하더라도 중간 주파수에 영향을 끼치지 않으며 -22 dBm의 신호 세기로 10^{-3} BER을 만족한다.

<표 3-11-3-5> FM 방송 주파수가 인가될 경우 최소 운용 성능

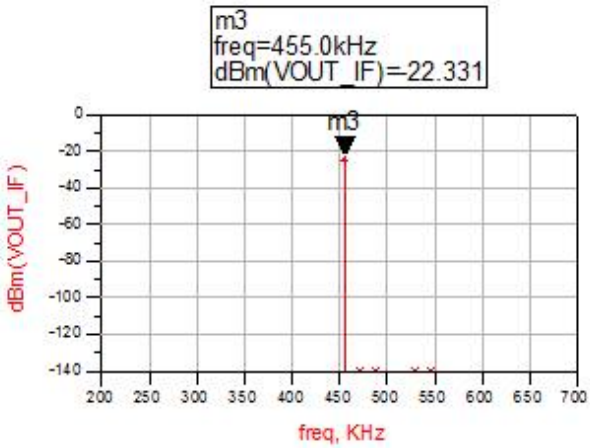
수신 신호	신호크기 : -75 dBm, 변조방식 : D8PSK
원하지 않는 신호 2	신호크기 : -5 dBm, 변조방식 : 무 변조 주파수 : 87.5~107.9 MHz



<그림 3-11-3-15> 1차 믹서 통과 후



<그림 3-11-3-16> 두 번째 필터 통과 후

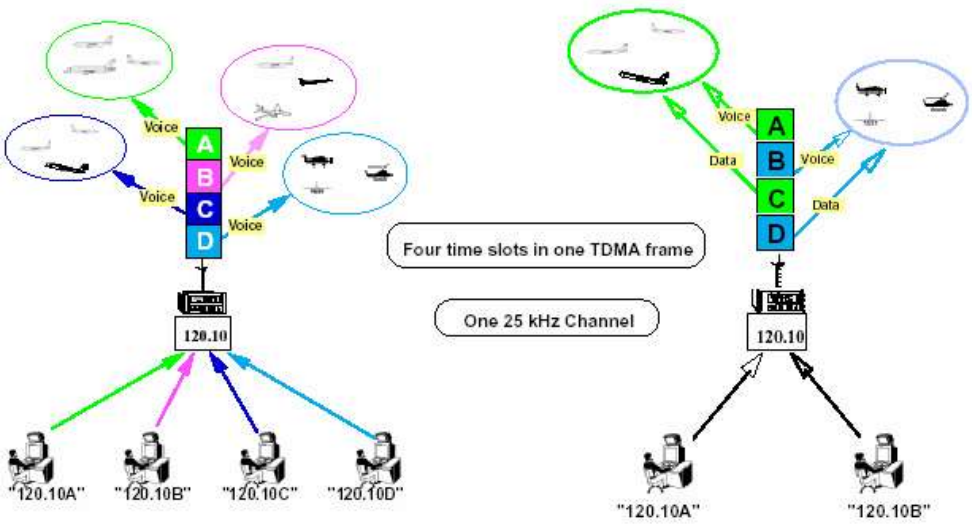


<그림 3-11-3-17> 최종 출력

제 12 절 VDL M3 기술 연구

1. VDL M3 기술 개요

VDL M3는 미국에 의해 주도적으로 개발이 진행된 VDL 기술의 일종이다. 미국에서는 VHF 대역의 주파수 자원 문제를 디지털화된 음성통신과 데이터통신의 결합으로 동시에 해결하고자 음성통신과 데이터통신이 둘 다 가능한 기술을 모색하였고, 이러한 목적에 의해 VDL M3 기술이 개발되었다. VDL M3는 M2와 동일한 물리계층을 사용하지만 TDMA 방식을 채택하고 있다. VDL M2와 같은 118~137㎒ 주파수대역을 이용하며 데이터 전송률도 31.5 kbps로 동일하다. 다중접속방식으로 TDMA 방식을 사용하는데 음성과 데이터로 구성된 1개의 프레임을 4개의 슬롯으로 분할하여 Vocoder를 이용한 디지털 음성전송과 데이터의 동시 전송이 가능하도록 고안되었다. <그림 3-12-1-1>은 4개의 슬롯을 분할하여 사용하는 VDL M3 운용개념의 예시를 설명하고 있다.



<그림 3-12-1-1> VDL M3 운용개념 예

VDL M3 기술의 ICAO 표준은 2001년 11월에 공표되었으나 VHF 음성통신으로 채널폭을 8.33kHz로 축소하여 기존 VHF 음성통신을 그대로 활용하기로 결정한 유럽에서는 관심이 없었으며, 미국과 일본에서 주로 연구가 진행되었다. 이후 미국에서 제품개발과 항공기 인증시험 등이 진행되었고 VDL Mode 3 구축과 통신인프

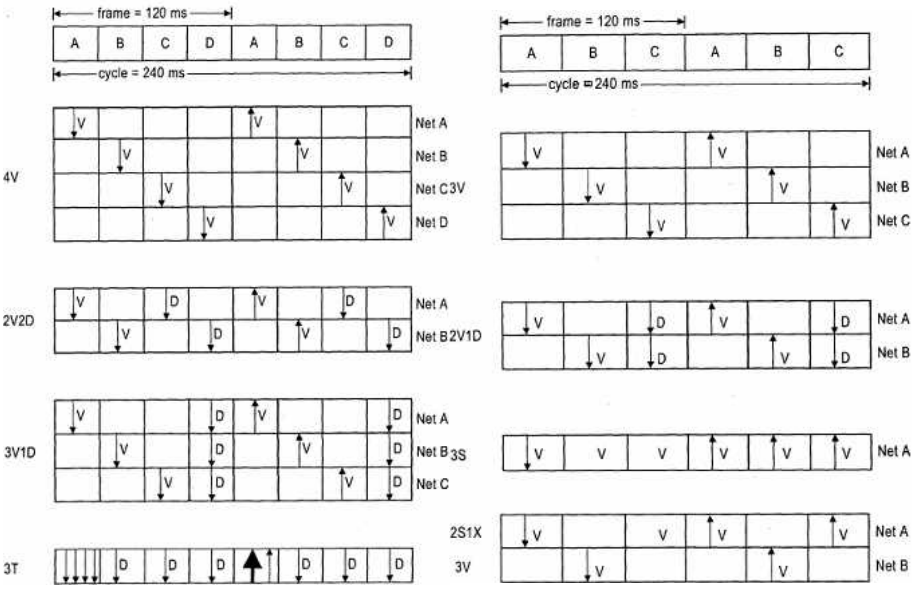
라 개선사업으로 NEXCOM 프로그램으로 추진되었으나 현재 중단된 것으로 알려져 있다. 이는 기존에 사용되던 VHF 음성라디오를 전량 교체해야 하는 항공사들의 반발과 지상통신인프라 교체에 따른 막대한 예산상의 문제 등이 사유인 것으로 추정된다.

2. VDL M3 프로토콜 분석

가. VDL M3 프로토콜 Frame 구성

VDL M3는 Time Slotted System으로써 120ms 단위의 TDMA Frame 으로 구성되어 있다. 이러한 Time Frame은 3개 혹은 4개의 Time Slot으로 되어 있으며, 각 Time Slot은 3T를 제외하고는 Management Channel과 Voice 또는 Voice/Data 전송을 위한 2개의 Subslot들로 구성되어 있다. 이러한 TDMA Frame은 2개가 하나의 Cycle을 이루어 하나의 MAC cycle을 이루며, MAC cycle 당 하나의 Uplink Management Channel Beacon이 있다. 또한, 25 MAC cycle 또는 6초 단위로 Epoch가 있어 초단위 절대시간을 갖는 지상국과의 동기에 이용된다.

(1) VDL M3 프레임 및 슬롯 구성



<그림 3-12-2-1> VDL M3 프레임 및 슬롯 구성

VDL M3의 슬롯 구성은 통달거리에 따라 달라질 수 있는데, 일반적으로 3-slot

은 600 NM, 4-slot은 200 NM에 사용된다. 또한, 3-slot의 경우 하나의 slot은 40ms, 4-slot의 경우엔 30ms 단위로 slot이 나뉘게 되며, 서로 상승과 하강 시간이 존재하여, 데이터 전송시간은 이보다 작다.

3-slot과 4-slot의 경우, 그 구성은 <그림 3-12-2-1>과 같으며, 화살표의 방향은 uplink, downlonk의 방향을 나타내고, V는 voice, D는 Data 전송을 의미한다. 4-slot의 구성중 4V는 voice로 4 채널을 이용 할 때, 2V2D는 2 pair V/D, 3V1D는 data를 share 하여 사용할 때, 3T는 channel management 사용시에 주로 이용된다. 또한, 3-slot의 구성인 3V는 4-slot의 구성과 비슷하게, 3 voice 일 때, 2V1D는 data를 share하여 사용할 때, 3S는 3개의 지상국일 때, 2S1X는 2 지상국일 때 사용된다.

(2) Frame 구성 및 동기

이러한 각각의 Frame에는 각 영역에 ID Number로 의미가 할당되어 있다. <그림 3-12-2-1>과 같이 Frame은 slot number가 A~D로 주어지며, User Group ID로 A~D와 주파수와 함께 TDMA net를 구분하며, Local ID인 8 bit 수는 2 bit의 User Group ID와 6 bit의 Aircraft ID로 구성되어 polling response 시에 사용된다. 또한, 이러한 Frame을 주고받기 위해 Random Access(RA)로써 Downlink Management Channel Slot에 계획된 접속인 동기식 RA, 그리고 비동기식 RA를 각각 이용할 수 있다. 이러한 Frame은 앞서 말한바와 같이 120ms의 TDMA frame이며, Data frame은 DLS 에 의해 생성되는 주소를 갖는 블록으로 구성되어 있으며, 24 bit CRC code와 다양한 "Bit-stuffing" overhead bit를 갖으며, 최대 7440 bit, 15 V/D의 "Frame group"으로 구성되어 있다. 또한, voice frame은 일반적으로 4800 bps로 주기적 bit stream이며 길이는 120/n(n은 integer)로서, normal voice mode 인 경우, n=6, Truncated voice mode인 경우, n=5로서 길이가 나누어진다.

이들 Data 와 Voice를 구성하는 V/D header와 Management message들은 Golay(24,12)로 처리되는데, Half-rate code이며, 12 bit information과 12 bit parity bit으로 구성되어 있다. 또한, Corrected 3-error pattern과 detect 4-error patter이며, 이러한 Golay Word는 information 전에 parity bit를 갖는 24 bit(8 symbol) continuous stream을 전송한다.

Frame은 동기를 맞추기 위해 동기식과 비동기식이 있는데, 이러한 Timing

State는 보상된 delay 가 ±1 symbol 안에 있어야 한다. 또한, 이들은 무선 상태에 따라 다음과 같이 상태를 나눌 수 있다.

- TS0 : Link 초기화 전 무선 상태로써, 미전송 상태일 때, Management Channel Signal을 search 할 경우에 사용되며, 3T일 때에는 항공기가 무선 신호를 잃어버렸을 경우 지상접속을 위해 사용한다.
- TS1 : 무선 결정 후, beacon signal에 따른 Timing 교정 시 시용하며, complete net entry에서는 이산 주소화 및 데이터 통신이 가능하며, complete net entry가 아닐 경우에는 Voice만 사용하며 ±1 symbol(95ms)에서 “guarantee" 하는 동안 무선을 유지한다.
- TS2 : beacon 신호를 원활히 받지 못할 경우, guarantee 하지 않으므로, 다른 소스로부터 신호를 수신해야 하는데, 이 때 다른 beacon으로부터 받은 신호의 품질이 떨어지므로, TS2에 있는 항공무선은 “truncated voice" 신호를 송출하고, downlink management channel message 신호 및 data message 신호를 송출하지 못한다.
- TS3 : beacon signal도 못 받고, 지상국이 없는 지역에서 제공되는 Poll Response도 없는 상태인 경우로써, "free-running"이라하는 full-length voice message를 전송한다.
- 또한, 각 frame과 slot 마다 Logical Burst Access Channel(LBAC)이 있는데 burst 전송은 SARP와 관련 있으며, burst의 총수는 TDAM faram 구성에서 각 역의 list 문자와 화살 수의 합과 같다. 예를 들면, 4V와 3V는 4LBACs 이고, 2V2D, 3V1D, 2V1D는 8LBACs, 3T의 경우엔 18MBCAs, 3S의 경우엔 10LBACs, 2S1X는 7LBACs이다.

나. VDL M3 운용 요소

VDL M3의 물리적 계층은 Mode 2와 완전히 일치한다. 앞서 프레임 및 슬롯 구성에서 언급하였듯이 Timing structure에는 120ms 안에 30ms 혹은 40ms 단위의 slot이 있으며, slot 마다 management burst 와 V/D burst가 있다. ATC에서 시

스템 구성은 각 25 KHz channel slot 마다 미리 구성된 고정 할당이 있는데, 이는 추가적인 유연성을 개선하기 위한 25KHz channel 안에 V/D resource 할당이다. 지상 무선은 지상국에 의한 연속적인 방송과 beacon signal을 통하여 항공기와 통신한다. 특히, 3T의 경우, 60 user가 3 separate user group으로 나뉘어 있다면, 하나의 user group에는 180 user가 있을 수 있다. 또한, Slot D에서는 voice와 data sharing으로 인한 access 문제가 야기될 수 있기 때문에 제어가 필요하고, data 전송 후에는 voice가 전송되므로, voice 지연이 있을 수 있어, 이는 voice 통화량이 적은 지역에서 사용되어야 한다.

(1) 시스템 Timing

시스템 Timing 정보는 지상국으로부터 송출된다. 항공기는 지상국 beacon 신호로부터 시스템 timing 정보를 추출한다. 이러한 timing은 TS1, TS2, TS3 로 나뉘며, TS1 일 때, 항공기는 V/D 접속이 가능하며, 주기적인 timing update를 받는다. TS2는 항공기가 지상 무선 beacon 신호를 받을 수 없을 때이며, 이때 voice data rate을 줄여 voice 통신은 가능하며, data 통신을 위한 정확한 timing은 갖고 있지 않은 상태이다. 또한, TS3는 지상 무선 신호가 없으며, 항공기 무선 시계는 free running 상태이다. 이에 앞서 TS의 상태에 따라 vocoder는 TS1과 TS3는 4.8kbps TS2는 4.0kbps이다.

(2) Addressing 및 Access

Frame에 포함되어 있는 ID로 그룹에 들어오는 새로운 항공기마다 Local User ID를 부여하는 discrete addressing이 이루어진다. 이 때, "log in"은 자동적으로 이루어지며, 단일 “listen-before-push-to-talk"를 포한한 basic 운용은 discrete addressing 또는 net entry process 없이도 이용가능하다. 또한, Media Access Protocol로는 Voice 운용일 때와 Data 운용 일 때 다른데, Voice 운용의 경우엔 "listen-before-push-to-talk protocol"이 사용되며, Data 운용의 경우엔 지상국에 최대 용이성을 제공하기 위해 모든 data traffic을 위해 centrally managed reservation protocol을 사용한다. 이러한 것은 downlink data traffic을 위한 접속은 항공기 무선에 의해 만든 예약 요청에 기초를 두어 지상국에 의해 주어지며, uplink data traffic을 위한 접속은 지상국에 의해 직접 운용된다.

(3) Voice / Data 통신

VDL M3에서 voice 통신은 현존하는 음성통신시스템의 기능을 제공해야 한다. 이는 일반적인 통신 채널 수행요구사항으로 통달범위에 따른 요구사항들에 대한 만족을 다음과 같은 상태로 나눌 수 있다.

- ○ air-ground coverage provided by a single ground station
- ○ air-ground coverage provided from multiple ground stations
- ○ air-air coverage when both aircraft are within the coverage of the ground station
- ○ air-air coverage when only one aircraft is within the coverage of the ground station
- ○ air-air coverage when neither aircraft is within the coverage of the ground station

먼저, 하나의 지상국에 의해 제공되는 air-ground 통달범위는 지상이동, 관제탑, 접근비행 및 비행장에서 자동적인 터미널 정보 서비스를 이용할 때 사용되며, 이들은 통화량이 많은 공간에서의 사용을 위한 en-route channel이다. Aeronautical Operation Control(AOC) 운용들을 만족해야 하며, 주파수 이용을 향상시키기 위해서는 common channel을 이용한다. 또한, 이들 사용자들은 channel 상의 low traffic 배치 및 지역적 분배를 요구한다.

다수 지상국들로부터 제공되는 air-ground 통달범위는 하나의 지상국은 물론 single user group의 요구사항을 만족해야 한다. 즉, 현 시스템에서 적절한 지상국의 운용선택에 의해 제공되거나, offset carrier system의 상용으로 제공되어야 한다. 단일 user group에 의한 다수지상국의 이용이 필요한 이유는 항공기가 요구하는 통달거리가 넓고, 하나의 무선국의 low-level 통달 범위가 지형적인 형상에 의해 제한되기 때문이다. 넓은 통달지역은 ATC sector가 쉽게 기존 공역을 제어하고, 제어하는 팀이 지나치게 넓은 지역을 다루거나 다른 특별한 ATC를 적용할 때 필요하기 때문이다. 이러한 운용의 전형적인 적용은 주 항로, FIS, Volmet와 ocean

Clearance Delivery Channel로부터 떨어진 상위 항공 sector를 포함하기 위함이다. AOC 통신은 high traffic router 들 사이의 넓은 지역 networks을 이용할 것이다. 특히, 언덕이나 산등성이 때문에 통달 범위가 제한되는 곳에서 ATC sector 는 좋은 low-level 통달범위를 요구하는데, 다수 지상국에서 포함되지 않는 지역을 포괄하여 제공하기 위해 이용할 것이다.

하나의 지상국 범위 안에 있는 두 항공기간의 air-air 통달 범위는 voice traffic을 관찰이 voice circuit 안의 air 와 ground 상의 모든 사용자가 허용하는 영역 내 필수적으로 필요하다. 이는 voice 회선이 영역 점유를 위한 management channel을 이용하기 위해서인데, 이는 voice 회선이 자유로울 때 접속을 시도하기 위함이다. 이러한 능력은 모든 통신들의 목록을 관찰하기 위해서 sector 안의 aircrew 동작뿐만 아니라 직접 air-air 통신을 허락하고, 이들의 부근에서 traffic 상황을 만들 수 있어야 한다.

하나의 지상국 범위 안에 있는 유일한 하나의 항공기와의 air-air 통달범위는 매개체를 통해 ATC 간접적인 접속을 유지하여 통달범위 밖의 항공기와의 통신하는 능력이 필요하다. 이는 기존 기술과 더불어 기술과 동작 상태에 따라 감소되어지는 통달거리에 대한 개선을 목적으로 한다. 그 원인은 다음과 같다.

- 다수 지상국 시스템에서 하나의 지상국 고장
- 하나의 지상국 시스템에서 주 지상국의 고장과 이의 비 최적 위치에 따른 보조 지상국으로부터의 통달거리 감소
- 특히, land-based 무선국이 이들의 최대 실제 거리에 가깝게 동작하는 over-sea sector상에 통달범위를 제공하는 channel에서 기상영향에 따른 전파경로의 흐트러짐
- 일반적으로 제공된 고도 아래로 내려오기 위해 항공기에 요구되는 icing과 같은 반대의 기상상태와 항공기 고장

하나의 지상국만 있을 때 air-air 통달범위는 두 항공기가 기능적 지상국 밖에 있을 때, air-air 통신은 안전한 back-up 절차를 지원하기 위해 요구된다. 전형적인 이용은 근접한 sector에서 비행하고 있는 동료 항공기를 통해 통신 relay에 의한

standby channel로 유도하여 관련 항공기에 허용함으로써 지상국 고장 사건에서 fall-back mechanism을 제공하는 것이다. 또한, 지상 infrastructure가 없는 ocean 지역들을 포함한 멀리 떨어진 지역에 air-air 접속을 유지한기 위한 항공기를 허용하곤 한다. 추가적으로 고정된 지상국에 의지함 없이 통신 링크를 유지하기 위한 mobile user system들의 능력은 다른 지상 user들을 허용하곤 하는데, 예를 들어 유연한 지상국으로써 이동할 수 있는 장비를 채용하기 위한 private flyers, flying clubs, glider clubs, balloonists들을 들 수 있다.

앞서 VDL M3에서 voice 통신과 비슷하게 data 통신의 통달범위에 따른 요구사항은 다음과 같다.

- air-ground provided by a single ground station
- ground-air broadcasting coverage

이러한 통달범위의 data 통신 역시 voice 통신과 비슷한 air-to-ground, ground-to-air point-to-point data link를 만족하며, ground-to-air broadcasting은 물론 connectivity to ground ATN system의 모든 subnetwork의 모든 기능을 제공해야 한다.

다. Network 운용

VDL Mode 3의 Network 운용을 단계적으로 살펴보면, 전반적인 운용개념을 확인 할 수 있다.

(1) 초기화

항공기가 새로운 sector에 들어갈 때, 항공기는 다음과 같은 사항이 필요하다.

- 설계된 channel을 위한 송수신기의 조절
- 적절한 timing reference를 세우기 위한 적절한 uplink management broadcast message를 얻고, 이러한 무선의 적절한 구성을 위해 network 정보를 추출

3T TDMA frame 구성을 제외하고는 무선 초기화 후에는 즉시 시작할 수 있다. 단지, basic voice mode로만 동작하며, 구별되는 주소를 수신하여 지상국의 통제를 받고 등록되는 항공기와 같은 data mode 혹은 부가적으로 향상된 voice mode로는 동작할 후 없다. Net entry에서 초기화의 완성은 항공기에 적절한 downlink management channel에서 Net Entry Request message를 전송하고, 지상국에서는 가입자가 net에 있는 동안 쓰여지는 구별 주소를 포함한 Net Entry Response를 전송한다. 또한, 구별 주소를 수신한 후에는 항공기가 향상된 voice, air-to-ground data 와 uplink multicast service에 참가할 수 있다.

(2) Management 및 Handoff

연결 관리는 자동화가 가능하다. 예를 들어, ATC 및 자동화 과정과 같은 외부 ground-based application에 의해서도 가능하다. 그리고 voice-only system 과 같은 부가적으로 완전한 manual approach가 가능하고, 새로운 channel 할당이 있는 semi-automated approach는 지상국에 의해 가입하에서 항공기를 통해 uplink 되어진다. 더욱이 새로운 channel 할당이 있는 fully-automated approach는 외부 external-based application에 의해 직접 제어하에서 항공기를 통해 uplink 되어진다.

Automated Handoff 위해서는 3T를 지원하는 지상국은 2ms안에 주파수를 되돌릴 수 있는 항공기를 위한 자동화된 3T handoff 기능을 제공해야 한다. 이러한 기능은 Odd TDMA frame slot A에서 분리된 burst 인 uplink management burst 전송 후에 지상국 3T handoff check message를 전송한다. 그리고 handoff check message는 근처 MAC cycle 당 하나씩 지상국 모두에게 들려주기 위해 항공국은 허락한 모든 참여 지상국에 의해 방송되고, 가장 강한 신호를 제공하는 지상국을 결정한다. 이러한 handoff check message에서 현재 지상국은 Ground Station Code, Ground Subnetwork Address와 관찰하기 위한 최 근접 net을 다음 4개 주파수까지 방송한다. 최 근접 net은 handoff check burst를 통하여 주파수를 rotating에 의해 조절한다. 그리고 항공국은 handodd check message를 통해 이들 적절한 주파수를 scan 하고, 지상국으로부터 수신된 신호의 질을 비교한다. 마지막으로 적절한 주파수 scan 후에, 다른 적절한 주파수 정보를 포함해 관찰되고 있는 4개 met 보다 더 있다면, 항공국은 다시 현재 지상국 주파수를 scan 한다. 항공국은 주파수, Ground Station Code, Ground Subnetwork Address와 이들의 최근 신

호의 질을 측정을 포함하여, scan 된 net들의 database를 유지하고 축적한다. 근접한 지상국으로부터 신호의 질이 현재 지상국에 의해 제공되는 것보다 더 좋은 link가 제공되는 것으로 결정될 때, 항공국은 새로운 지상국에 의해 자동적으로 handoff를 수행한다. 만약, 항공국이 새로운 met을 얻을 수 없다면, 신호의 질이 떨어져도 다른 net과 이전의 net을 얻기 시도할 것이다. Ground Station Address는 같은 router port에 연결된 채로 남아 있기를 시도하기 위해 IDRP protocol에 영향이 최소화되는 지상국에 대해 신호의 질 예측들이 우선권을 제공하기 가까울 때, 항공기에서 사용되어 질 수 있다.

이와 비슷하게 VDL M3 Network에서는 Polling과 잠금 기능을 사용한다. 먼저 Polling은 순차적인 channel 접속을 제공하기 위해, slotted aloha random access reservation protocol은 제어하는 지상국에 의해 등록된 사용자들이 순차적인 polling에 의하여 매워진다. 이러한 각 uplink management channel은 지상국으로부터 polling 명령을 지원할 수 있다. 또한, 동시 활성화되는 송신 잠금장치는 implementer들이 common airframe에서 multiple VDL Mode 3 송신기들이 동일 주파수와 slot을 위해 조정되어지는 것을 막기 위해 잠금 기능을 제고하는 것을 요구한다. 이는 수동적인 무선이 local identifier address space로부터 점유하는 것을 막고, 다른 사용자들이 discrete addressing service들에 접속하는 것을 막기 위함이다.

(3) Voice 운용

회선 초시화시 논리적 voice channel의 가입이 이루어지는데, 항공기는 가입 즉시 net구성 정보와 net timing 정보를 얻기 위해 주파수와 선택된 time slot을 갖고 조합된 Management uplink를 관찰하기 시작한다. Net 구성 정보는 항공기 초기화에 사용하고 초기화는 1초 이내이다.

초기화 후 기본적인 voice 운용이 수행된다. 이러한 basic voice operation은 현재 25 KHz DSB-AM system에서 사용되는 "listen-before-push-to-talk" protocol에 기초한다. Net 초기화에서 pilot은 회선상의 임의 사용자의 전송을 관찰할 수 있다. 추가적으로, 항공기는 idle, occupied 또는 지상국에 의해 occupied하기 위해 voice 회선 인식을 위한 uplink management burst로부터 voice 회선 상태를 받는다. 회선이 사라질 때, pilot은 channel을 붙잡기 위해 push-to-talk(PTT)를 주장하고, 전송을 시작한다. 기본 동작은 사용자 group 안에서 직접적인 air-air "party

line" 연속성을 제공한다. 3T 구성에서는 PTT의 활성화는 voice 전송을 위한 예약 요청의 송신에 기인하고, 요청을 수신하면, 지상국은 용량 가용시 time slot을 할당한다. 신호는 말하기 위한 항공기 요청자에게 신호를 주기위해 할당되고, 3T 구성 또한 사용자 group 안에서 "party line" 연속성을 제공한다.

3T voice 운용의 경우, 항공기는 지상국으로부터 voice 접속을 요청하기위해 downlink의 예약 message의 voice request field를 이용한다. 시스템의 한 묶음 특성 때문에 voice 접속은 임의 message를 차지하는 voice slot의 전송이 끝나는 동안 다른 시스템 구성에서 추가적인 지연이 있을 수 있다. voice 회선 접속은 아직 가능한 voice와 data 활성화를 위한 voice 회선상태를 관찰하는 listen-before-push-to-talk 훈련을 연습하기위해 항공기를 요구하고, voice 회선이 idle 되도록 요구한 후에 PTT를 활성화 한다.

향상된 voice 운용의 경우, discrete addressing과 data link에서 참여한 항공기를 위해 voice 운용의 개선은 만약 지상 사용자의 추가적으로 지원할 수 있다. 본질적으로 이는 downlink의 pilot으로써 사용된 어구를 보강/대체 할 수 있는 "called ID"를 수반하고, voice call을 받아들이는 항공기는 선택적으로 신호를 지상 사용자에게 활성화 할 수 있는 "selective call"을 수반한다. voice call traffic에 사용된 voice/data burst들의 헤더에 있는 local user ID는 이러한 능력을 향상시키기 위함이다. 추가적인 voice는 "call waiting"과 긴급 message 지시를 포함한 downlink management burst의 사용을 통해 구현한다. Call waiting 형상은 만약 다른 사용자가 이미 net에서 말하고 있는 동안 항공기가 PTT를 활성화 한다면 참가한다. 이것이 발생될 때, 항공기는 downlink management burst의 voice 요청 영역에 특별한 신호를 전송하고 이 신호는 추가적인 항공기가 말하기를 희망하는 지상 제어자의 주지를 위해 사용된다. 만약, 항공기가 응급상황을 겪는다면, 특별한 downlink management burst는 점유된 사용자의 voice channel을 사용하기 위해 긴급한 필요를 알려주기 위해 보낼 수 있다. 이는 지상 제어자에게 긴급 상태를 알려주고, 제어자는 적절한 행동을 취할 수 있게 된다.

(4) Data link 운용

Point-to-point data link 접속의 경우, data 운용은 data 전달을 위해 필요한 기간 동안 voice/data slot의 독립적 사용을 위해 지상국에게 사용자가 만든 예약

요청에 기초를 둔다. data link service는 구별되는 주소를 요구하고, 유일한 예약된 사용자들을 위해 사용된다. Downlink에서 전송을 위한 data를 갖는 항공기는 요청 전송에서 충돌사건의 경우, 재전송을 위한 예비를 갖는 slotted aloha protocol을 통해 예약 요청들을 만들고, 이 random access 예약 요청과 더불어 지상국은 순차적으로 예약된 사용자들을 등록한다. 각 사용자가 등록함에 따라 논쟁없이 이의 예약된 요청을 전송하기 위해 downlink management channel을 사용할 기회가 주어진다. 이는 각 항공기 사용자가 지상 수신자에 의해 들려진 항공기를 요청할 기회가 주어지는 것이다. 요청은 downlink message의 우선순위와 많은 voice/data burst들을 위한 message 길이를 포함하고 예약요청의 성공적인 수신에서 지상국은 예약 반응을 나타낸다. Downlink message 전송 계획은 지상국에 의해 제어되고, message의 우선순위에 의해 의존된다. Uplink에서 voice/data uplink burst들을 위한 지상국 자체 traffic은 message 우선순위에 기초를 두며, 안정환 data service를 위해 일부 point-to-point data 전송들은 인지하게 된다. Protocol은 만약 인지를 허용된 시간 안에 받지 못하면, 자동적으로 재전송 시키는 것을 제공한다.

Data 방송은 단방향 data 방송 service이며, 모든 사용자에게 uplink 방행으로 지상국에 의해 제공된다. Data 방송 message는 스케쥴링을 대신하여 point-to-point data message와 같이 다루어지고, 동우선 순위 message 사이에는 first-come, first-served의 기반과 message 우선순위에 기초하여 계획된다. 여기서 point-to-point 전송과 data 방송과의 주된 차이점은 방송 message는 인식되어지지 않는다는 점이다. 또한, 방송 message는 이중 제제를 위한 toggle bit sequencing의 사용이 없는 것이 특징이다. Data 방송 집적을 향상시키기 위해 data 방송은 일반적으로 여러 번 재전송된다.

3T trunked access에서 3T 시스템 구성은 지상국에 의한 요구에 따라 모든 이용 가능한 slot들을 가로질러 data 전송들을 나열할 수 있는 것이다. 이 경우, 지상 스케쥴러는 요청들에 대한 이용가능시간 slot들을 할당하는데, 더 유동적이다. Voice 요청은 slot D의 사용에 있어 data 보다 우선순위이고, voice 예약은 even 혹은 odd frame에서 시작할 수 있다. Voice 요청이 없으면, data 예약은 다음 양식 중 하나에서 시작하는 것으로 할당되고, voice slot 점유할 경우, data 예약 옵션들은 단지 slot B와 C를 사용하는 옵션으로 제한된다.

- in even B-slot

- in odd B-slot

- in even B-slot, skip slot D

- in odd B-slot, skip slot D

- in even C-slot

- in odd C-slot

- in even C-slot, skip slot D

- in odd C-slot, skip slot D

- in even D-slot

- in odd D-slot

라. Formats

Message burst들의 다양한 형태는 VDL Mode 3 subslot들에 의해 전송되어진다. Burst의 형태는 다음과 같다.

- Ramp up and power stabilization sequence

- Synchronization sequence

- Information

- Ramp down

Ramp up은 5.5 symbol 기간 동안 Nyquist filter를 거친 shaping이 일어난다. 그리고 power stabilization sequence에서는 AGC setting time을 위한 안정화 시간이 소요된다. Synchronization sequence는 16 symbol 기간이며, 두 쌍의 unique Word로 구성되어 있다. Information은 burst type에 의존하여 정해지고, 마지막으로 2.5 symbol 기간 동안 Ramp down이 일어난다.

Burst type으로는 Voice/Data, Channel management uplink, Channel

management downlink와 Special format 이 있는데, Voice/Data type은 Ramp up, a header(one (24,12) Golay word), 576 bits of truncated voice), ramp down 으로 구성되어 있으며, Channel management uplink type은 Ramp up, a synchronization sequence, 정보(four(24,12) Golay words), Ramp down으로 이루어졌으며, Channel management downlink type 역시 Ramp up, a synchronization sequence, 정보(four(24,12) Golay words), Ramp down으로 이루어졌으며, Special format은 3T 구성의 uplink channel의 형태를 갖고 있다.

(1) Synchronization sequences

Synchronization sequence는 S1,S1*, S2,S2* 두 쌍으로 구성되어 있다. 그 구성 형태는 다음과 같다.

S_1 =	000	111	001	001	010	110	000	011	100	110	011	111	010	101	100	101
S_1* =	000	001	111	111	100	000	110	101	010	000	101	001	100	011	010	011
S_2 =	000	111	011	010	000	100	001	010	100	101	011	110	001	110	101	111
S_2* =	000	001	101	100	110	010	111	100	010	011	101	000	111	000	011	001

<그림 3-12-2-2> Synchronization sequence 구성

이러한 변화 주기는 symbol 당 180° 이며, 동기를 찾는 방법은 두 sequence를 동시에 찾기 위해 동기 correlation process를 거친다.

(2) V/D formats

Voice / Data 형태는 sequence S2, 24 bits of head, 576 bits of Voice/Data information 또는 truncated voice mode일 경우 480 bits로 구성되어 있다.

먼저, Voice header는 하나의 (24,12) Golay word로 구성되며, 12 bits 정보이다. 여기에는 Message ID 3 bits, Local ID 8 bits, EOM 1 bit 로 구성되어 있고, Data header에는 Message ID 3 bits, Ground Station Code 3 bits, Segment Number 4 bits, Spare 1 bit, EOM 1 bit로 구성되어 있다.

이 중 Voice / Data header의 Message ID는 다음과 같이 구분된다.

000 Uplink Voice

001 Downlink Voice : TS1

010 Downlink Voice : TS2

011 Downlink Voice : TS3

100 Uplink Data (Acknowledgement Required)

101 Downlink Data (Acknowledgement Required)

110 Uplink Data (Acknowledgement not Required)

111 Downlink Data (Acknowledgement not Required)

여기서 TS1, TS2, TS3는 앞서 설명한 바와 같이 Timing State 이다. 일반적으로 M3에서는 TS1이다.

다음으로 Voice Data header의 Local ID는 2 bits의 Ground ID와 6 bit의 Aircraft ID로 구성되어지며 6 bit는 다음과 같이 구분된다.

0 Reserved for ground station

1-60 Available for aircraft users

61 Discrete addressing not supported / Dummy address

62 Discrete addressing not supported (alternate validity window)/ Dummy address

63 Broadcast

또한, Voice / Data header의 EOM은 1 bit로 message의 끝을 알려준다.

Data header에만 있는 3 bits Ground Station Code는 넓고 먼 service volume에서 동일 주파수를 나누어 사용하는 다른 사용자로부터 올바른 지상국을 구별하는데 사용하며, 1~7 사이의 숫자이며, 정보는 없다. 또한, 4 bits의 Segment Number는 1~15 사이의 숫자이며, data burst sequence에서 counter number 이다.

Voice / Data information 영역에서 MID 처음이 0 인 경우엔 Voice message를 나타내며, 1인 경우엔 Data message임을 나타낸다. Voice message인 경우

voice encoding algorithm은 Augmented Multiband Excitation(AMBE)로서 version AMBE-ATC-10이며, Digital Voice Systems, Inc. (DVSI)에서 개발된 것이다. 이것은 매 20 ms 마다 96 bits vocoder frame을 생성하며, TDMA frame 마다 6 vocoder frame들을 만들고, Truncated voice 는 480 bits이다. Data message인 경우 Error correction과 Detection decoding이 포함되어 있다.

(가) Management uplink formats

Management uplink format은 synchronization sequence 인 S2*, 48 information bits인 four (24,12) Golay word 및 다음 6가지 형태의 4가지 separate word의 조합으로 구성되어 있다.

Beacon 1		
	Message ID	4 bits
	Voice Signal	2 bits
	Aircraft ID(Poll)	6 bits
Beacon 2		
	Configuration	4 bits
	Slot Number	2 bits
	Ground Station Code	3 bits
	Squelch Window	3 bits
Reservation		
	Local ID	8 bits
	Reserved Slot	4 bits
ICAO Address (2 words)		
	ICAO Address	24 bits
Nest Net 1		
	Next Ground ID	2 bits
	Next Frequency	10 bits
Next Net 2		
	Next Net Type	1 bit

	Next Ground Code	3 bits
	Local ID	8 bits

Uplink management message는 Beacon 1로 시작한다. Beacon 1의 MID는 초기화 영역으로써 첫 번째 bit는 0 이다. 그 구성은 다음과 같다.

MID	0000	Normal Message
	0001	Net Entry Response 1 : No previous link
	0010	Net Entry Response 2 : Previous link preserved
	0011	Next Net Command
	0100	Recovery
	0101	Handoff Check
	0110-1111	Spare

여기에서, 두 가지 다른 Net Entry Response message가 있는데, 0001은 새 지상국인 전 지상국으로부터 link를 수정할 수 없는 경우이고, 0010 은 새 지상국이 link를 수정할 수 있을 경우로 구분된다. 또한, beacon 1의 voice signal 구성은 다음과 같다.

Voice Signal	00	Ground Access
	01	Occupied
	10	Voice Channel Idle
	11	Spare

다음으로 Beacon 1 영역에서 Aircraft ID (Poll)은 6 bits 이며, 3T, 3S, 2S1X외의 경우 Ground ID 는 Beacon 2의 slot number와 같다. 만약, 3T의 경우, Ground ID는 uplink management channel burst에서 Beacon 1 영역의 위치를 위해 적용하며, 3S위 경우, 무관하거나 임의적으로 A=00, 2S1X의 광범위 영역 slots에서 A=00 이다.

Beacon 2 영역은 Beacon 1 영역에 이어 시작되는데, Static information으로 cycle 사이에 변화가 없고, net에 가입되는 무선에 의해 요구된다. 구성의 구성은

다음과 같다.

Configuration	0000	4V
	0001	3S
	0010	3V1D
	0011	2V2D
	0100	3T
	0101	3V
	0110	2V1D
	0111	2S1X
	1000-1111	Spare

다른 지상국에 다른 configuration으로 혼합가능하다. 예를 들어 slot A와 C는 2V2D이고,. B와 D는 4V 구성이 가능하다. Slot number는 단순 slot number 이고, Ground Station code 는 3 bits 이며, Squelch Window는 3 bits로써, 지상국에 의해 제공되는 지역의 물리적 크기와 관련 있다.

다음 Reservation 영역은 요청에 대한 인식영역이다. 3T의 경우, 항공기 voice 통신을 위한 비축 slot들에 사용되며, Local ID의 첫 번째 부분은 aircraft 관련, 두 번째 부분은 Reservation 혹은 Reservation request Acknowledge(RACK)를 인지하는 부분이다. Reserved slot은 Reservation 시작 slot을 나타낸다. 다음은 그 구성을 나타낸다.

0000	No reservation information
0001	RACK
0010	Spare
0011	Spare
0100	Data reservation (start in even B Slot)
0101	Data reservation (start in odd B Slot)
0110	Data reservation (start in even B Slot, skip D)
0111	Data reservation (start in odd B Slot, skip D)

1000 Data reservation (start in even C Slot)

1001 Data reservation (start in odd C Slot)

1010 Data reservation (start in even C Slot, skip D)

1011 Data reservation (start in odd C Slot, skip D)

1100 Data reservation (start in even D Slot)

1101 Data reservation (start in odd D Slot)

1110 Voice reservation (start in even D Slot)

1111 Voice reservation (start in odd D Slot)

Data reservation을 위해, 항공기는 Reservation word에 포함된 cycle을 따라 MAC cycle에서 설계된 slot에서 전송되는 data burst에서 시작하고, 항공기는 message가 완료될 때 까지 각 이용 가능한 data slot을 사용하여 data 전송을 계속한다. 3T의 경우, voice reservation은 subsequence cycle의 even 또는 odd frame의 slot D에서 시작한다. Data reservation이 voice 전송이 활성화 될 때, data 전송은 D slot을 피해야하고, 요구사항은 Reservation Slot 영역에 나타나야 한다. 특히, 3T 에서는 0100, 0101, 0110, 0111, 1010, 1011, 1110, 1111 만을 사용한다.

기타 영역은 Message type에 따라 달라지는데, Next Net 1은 다음 지상국 ID와 주파수를 언급하고, Next Net 2는 Next Net type, Next Ground Station Code 및 Next Net 수령자 Local ID를 명시한다. 이들 Next 영역에서 ICAO Address 영역의 message type은 다음과 같이 세분화 된다.

Normal Message (MID = 000)

Beacon 1 12 bits

Beacon 2 12 bits

Reservation #1 12 bits

Reservation #2 12 bits

Net Entry Response (MID = 0001 or 00100)

Beacon 1 12 bits

Beacon 2 12 bits

ICAI Address 24 bits

Next Net		(MID = 0011)
	Beacon 1	12 bits
	Beacon 2	12 bits
	Next Net 1	12 bits
	Nest Net 2	12 bits
Recovery		(MID = 0100)
	Beacon 1	12 bits
	Beacon 2	12 bits
	Reservation #1	12 bits
	Reservation #2	12 bits
Terminate		(MID = 0110)
	Beacon 1	12 bits
	Beacon 2	12 bits
	Reservation 1	12 bits

(나) Management downlink channel

Management down link channel에는 3가지 type이 있다.

- Net Entry Request message
- Poll Response and Nest Net ACKs
- Everything else

Net Entry Request message의 synchronization sequence는 S1*, 48 bits(24 bit 정보, two(24, 12) Golay word)로 구성되며, 24 bits는 입항하는 aircraft 의 ICAO Address 이다. Poll Response and Next Net ACKs의 synchronization sequence는 S2*, 48 bits(24 bit 정보, two(24, 12) Golay word)로 구성되며, 각 message는 4 bits MID를 포함하고 있고, S2*을 사용하고 있는 uplink message로부터 위 두 가지 type을 구분하기 위해 해당 message의 첫 번째 bit는 1 이다. 그 구성은 다음과 같으며, 3T를 제외하고는 Poll Response는 Alternate Timing Signal(ATS)이다.

MID	1000	4-slot Configuration Poll Response (ATS)
	1001	Spare
	1010	3-slot Configuration Poll Response (ATS)
	1011	Spare
	1100	3T Configuration Poll Response
	1101	Spare
	1110	Spare
	1111	Next Net Acknowledgement

Management downlink의 다른 type은 Reservation Request, Data Acknowledgment 및 Leaving Net message의 random access 형태이다. Leaving Message는 sequence S1, 48 bits(24 bits 정보와 two(24,12) Golay word) 로 구성되며 다음과 같다.

MID	1000	Reservation Requests(Random Access)
	1001	ACK
	1010	Leaving Net
	1011	Spare
	1100	Spare
	1101	Spare
	1110	Spare
	1111	Spare

이들 각각의 형태에 따른 message type 은 다음과 같다.

Poll Response	(S2*	: MID = 1000, 1010, 1100)
Reservation Request	(S1	: MID = 1000)
Message ID		4 bits
Local ID		8 bits
Ground Station Code		3 bits

Voice Request		2 bits
Number of Slots Required		4 bits
Spare		1 bit
Priority		2 bits
Acknowledgement	(S1 : MID = 1001)	
Message ID		4 bits
Local ID		8 bits
Ground Station Code		3 bits
Voice Request		2 bits
Spare		7 bits
Next Net ACK	(S2* : MID = 1111)	
Leaving Net	(S1 : MID = 1010)	
Message ID		4 bits
Local ID		8 bits
Ground Station Code		3 bits
Spare		9 bits
Net Entry Request	(S1* : No MID)	
ICAO Address		24 bits

Voice Request 영역은 voice 접속과 관련된 정보를 포함하며, 다음과 같이 구분된다. Routine Request message는 단지 3T에서 voice message를 계류하기 위해 time slot들을 요청하기 위해 사용된다.

Voice Request	00	No Request
	01	Routine Request
	10	Priority Request
	11	Spare

(다) Media Access Control message format summary

앞서 설명한 format을 자세히 살펴보면 media access를 위한 format 들이다.

이에 앞서 설명한 부분 중 media access를 위한 format을 다음과 같이 요약할 수 있다.

Type	*Message ID*	*Sync*	
Normal	0000	S_2*	{Beacon 1: 12}{Beacon 2: 12}{Res: 12}{Res: 12}
Net Entry Response 1	0001	S_2*	{Beacon 1: 12}{Beacon 2: 12}{ICAO Address: 24}
Net Entry Response 2	0010	S_2*	{Beacon 1: 12}{Beacon 2: 12}{ICAO Address: 24}
Next Net	0011	S_2*	{Beacon 1: 12}{Beacon 2: 12}{Next Net 1: 12}{Next Net 2: 12}
Recovery	0100	S_2*	{Beacon 1: 12}{Beacon 2: 12}{Res: 12}{Res: 12}

{ } = Golay Codeword (two words in the case of ICAO address)

{Beacon 1: 12} = {(Message ID: 4)(Voice Signal: 2)(Aircraft ID (Poll): 6)}

{Beacon 2: 12} = {(Configuration: 4)(Slot Number: 2)(Ground Station Code: 3)(Squelch Window: 3)}

{Next Net 1: 12} = {(Next Group ID: 2)(Next Frequency: 10)}

{Next Net 2: 12} = {(Next Net Type: 1)(Next Ground Station Code: 3)(Local ID: 8)}

{Reservation: 12} = {(Local ID: 8)(Reserved Slot: 4)}

Type	*Message ID*	*Sync*	
Res. Request	1000	S_1	{(Message ID:4)(Local ID: 8)}{(GSC: 3) (Voice Request: 2) (Number of Slots: 4) (Spare: 1)(Priority: 2)}
Acknowledgment	1001	S_1	{(Message ID:4)(Local ID: 8)}{(GSC: 3) (Voice Request: 2)(Spare: 7)}
Leaving Net	1010	S_1	{(Message ID:4)(Local ID: 8)}{(GSC: 3)(Spare: 9)}
Poll Response	1000/1010/1100	S_2*	{(Message ID:4)(Local ID: 8)}{(GSC: 3) (Voice Request: 2)(Number of Slots: 4) (Spare: 1)(Priority: 2)}
Next Net ACK	1111	S_2*	{(Message ID:4)(Local ID: 8)}{(GSC: 3)(Spare: 9)}
Net Entry Request	N/A	S_1*	{ICAO Address: 24}

Type	*Message ID*	*Sync*	
Uplink Voice	000	S_2	{Voice Header: 12}(Voice: 576)
Uplink Data	100/110	S_2	{Data Header: 12}(Data: M)
Downlink Voice	001/010/011	S_2	{Voice Header: 12}(Voice: 576)
Downlink Data	101/111	S_2	{Data Header: 12}(Data: M)

M: 496 information* bits + 80 error correction bits
496 information* bits include DLS sub-layer overhead for flags, error detection, etc.

{Voice Header: 12} = {(Message ID: 3)(Local ID: 8)(EOM: 1)}

{Data Header: 12} = {(Message ID: 3)(Ground Station Code: 3)(Segment Number: 4)
(Spare: 1)(EOM: 1)}

(라) Data link service formatting

V/D formatting 중에는 Data link service를 위한 sub-layer format이 있다. 이는 VDL Mode 3 protocol stack을 통하여 모든 사용자 data flowing을 위한 header에 포함되는데, 그 형태는 다음과 같다.

Aircraft Station Address	24 bits
XOR	
CRC-24Q Parity Word	
Address Type	3 bits
Toggle	1 bit
More Frame	1 bit
Frame Type/Priority	3 bits
Subnetwork Address	6 bits
Data length	10 bits
User Data	up to 7392 bits

(마) Control frame formatting

V/D formatting 중에는 CTRL_CMD와 CTRL_RSP와 같은 link를 구성하기 위해 하나 또는 그 이상의 parameter를 포함한다. 이러한 parameter는 단지

non-default 값이 요구된다면 보낼 필요가 있게 되며, 그 구성은 다음과 같다.

Format Identifier(82H)	8 bits
Group Identifier	8 bits
Group Length	16 bits
Parameter Set Identifier	8 bits
Parameter Length	8 bits
Parameter Set Value	8 bits
Parameter Identifier	8 bits
Parameter Length	8 bits
Parameter Value	8 bits

(바) Subnetwork formatting

V/D format들 중에서 subnetwork sub-layer에 사용하고 있는 어떤 압축을 지원하고, 사용하기 위한 network interface를 나타내는 모든 사용 데이터에는 다음과 같은 header를 적용한다.

Network Type	4 bits
Compression Type	4 bits

VDL Packet Layer Protocol(PLP) interface(ISO8208)는 0의 Network Type field로 명시되고 Compression Type(CP)는 subnetwork packet의 압축상태로 다음과 같이 구성된다.

Compression Type

0000	CLNP
0001	Restart
0010	Uncompression CLNP with compression information
0011	compression CLNP - Long with Options
0100	compression CLNP - Long
0101	compression CLNP - Short

0110 Multicast

0111-1111 Reserved

Connectionless Network Protocol(CLNP) interface는 1의 Network Type field로 명시되고 CLNP 압축 header는 Protocol Version packet Length를 제거하고, 이들 장소에 따라오는 header를 남겨놓는다. 이는 packet size가 비 압축 packet이 압축 packet 정보를 설정하기 위해 보내졌어도 증가하지 않음을 보장하는 것이다. Short Compress header의 구성은 다음과 같다.

Index Number	7 bits
Q (QOS Present)	1 bit
Priority	4 bits
Quality of Service (QOS)	4 bits
Security	8 bits

Long compress header는 어떤 optional field가 포함되었든지 간에 나타나는 bits의 나열로써 따라오는 Short header를 포함한 다양한 형태의 format이고, 그 구성은 다음과 같다.

D	Discard Reason (ER PDU Only)
L	Total Length
O	Segment Offset
H	Lifetime
T	Sequencing vs. Transit Delay(S/T) bit of QOS field
M	More Segments(MS) bit from CLNP header
E	Error Report (ER) bit from CLNP header
S	Segmentation Permitted (SP) bit from CLNP header

또한, Connectionless Network Protocol interface의 option들을 위한 header 포함 순서는 다음과 같다.

- Lifetime

- Data Unit Identifier

- Segment Offset

- Total Length

- Discard Reason

만약, Compression Type 영역에 option이 포함되는 것을 나타낸다면, network packet의 사용자 data 전에 Compression Type 영역을 따르고, one-octet length 영역은 option 영역들의 octets에서 길이를 나타내는 option 들을 앞선다.

Raw interface는 Network Type에서 2를 나타낸다. Compression Type은 항상 0으로 설정되며, 이런 interface는 network protocol이 사용되어지지 않는 것을 적용하기 위해 사용된다. 이는 Minimum Operational Performance Standard(MOPS)를 시험하는 것을 지원하기 위한 것이고, 주어진 상태에 의해 요구되는 경우, 다른 link를 위해 사용될 수 있다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에서의 기여도

제 1 절 연구내용 및 목표달성도

연구계획서에 작성되어 있는 연구개발의 최종목표 대비 실제 연구 수행결과를 살펴보면 <표 4-1-1>과 같다. 그리고, 정량적인 목표는 <표 4-1-2>와 같이 계획서에 제시되어 있는 모든 목표를 달성하였음을 알 수 있다.

<표 4-1-1> 연구개발 계획 대비 연구수행 결과

연구계획서 목표	연구수행내용 및 결과	달성도
국제 기술표준과 규격(ICAO, RTCA)에 부합하는 항공용 VDL M2 지원 송수신 개발	ICAO SARPS, RTCA, ARINC등의 기술 문서를 참조하여 설계하고 시험을 수행하였으며 특히, 현재 운용중인 공항시설과 민항기 연동시험을 통해 호화성을 확인하였음.	100%
▪ 지상용/탑재용 VDL Mode 2 송수신기	송수신기 뿐 만 아니라 탑재 통신관리기(CMU) 및 DSP도 개발하였으며, 이를 항공통신 시스템 전반에 대한 기반 기술을 확보하였음.	100%
▪ ▪ VDL Mode 2 송수신기(VDR : VHF Data Radio) 개발	VDL M2 송수신기(VDR), 지상국(GS)을 개발하여 시험을 완료하였음.	100%
▪ ▪ VDL M3, M4 및 VDB용도로 확장이 가능하도록 SDR(Software Defined Radio) 형태로 개발	송수신기는 VDL M3, M4 및 VDB용도 확장할 수 있도록 FPGA를 이용한 SDR형태로 개발하였으며, FPGA프로그램을 교체한다면 타 용도의 송수신기로 활용할 수 있음	100%
▪ ▪ 응용시스템과의 인터페이스 제공	사용자 프로그램 인터페이스를 구현하였으며 실제로 공항시설 연동시험을 통해 확인하였음.	100%
▪ 운용 시험장치	VDL M2 데이터링크 통신장비 시험을 위해 운용 애플리케이션을 구현하여 시험을 수행하였음.	100%
▪ ▪ 기능/성능/운용 시험 지원 및 점검 지원용	탑재운용시험장비(AAS) 및 지상운용시험장비(GAS)를 구현하여 본 과제에서 수행되는 각종 시험에 활용하였음.	100%
CNS/ATM 환경을 대비하여 요소기술인 VDL 분야 핵심기술 확보	CNS/ATM환경에서 통신분야 기술대비를 위한 통신기술 동향 및 발전전망에 대한 연구와 관련분애 핵심기술에 대한 연구를 수행하였음.	100%
▪ VDL 기술과 H/W가 매우 유사하고 단기 시장 수요 발생이 예상되는 VDB(VHF Data Broadcasting) 애플리케이션에의 활용을 위하여 개발 VDL 송수신기를 이용한 VDB 알고리즘을 개발함.	2, 3차년도에 걸쳐 VDB 알고리즘 연구와 설계를 수행하였음.	100%
▪ VDL 시험평가 기술(운용성능 확인을 위한 비행시험 포함) 및 환경시험	구성품, 인터페이스, 프로토콜, 1단계 지상시험, 2단계 지상시험, 비행시험, 환경시험, 공항시설 연동시험, 민항기 연동시험 등에 대한 시험기술을 연구하고 실제 시험을 수행하였음.	100%
▪ VHF 대역 전파 간섭 연구	위탁연구를 통해 1~3 차년도에 걸쳐 VHF 대역 전파 간섭에 대한 연구를 수행하였음.	100%

<표 4-1-2> VDL M2 송수신기 성능목표 대비 연구수행 결과

항 목	개발 목표		시험결과	비고
	연구계획서	설계목표		
사용주파수	118~137	←	←	VHF송수신기
채널간격(KHz)	25	←	←	
RF출력(W)	5~30	15W이상	16W	
수신감도(dBm)	-98이하	←	-100dBm	@BER 10^{-3}
변복조방식	D8PSK	←	←	VDL M2
데이터전송률(kbps)	31.5	←	←	
다중접속방식	CSMA	CSMA (p-persist)	←	

연구계획서상의 연구 목표를 살펴보면 VDL M2 송수신기와 단말의 사용자 운용장비 수준을 개발하는 것으로 설정되어있다. 앞에서 설명한 바와 같이 VDL M2데이터링크는 네트워크 중심 데이터링크로 OSI의 7개 계층에 기반한 시스템의 구조를 갖는데, 이러한 계층적인 기능이나 스택이 있어야만 송신기가 작동된다고 볼 수 있다. 연구계획서에서 언급한 VDL M2는 송수신기는 물리계층과 매체접근제어(MAC)으로 구성되므로 단지 연구계획서 상의 목표를 달성할 정도의 개발은 물리계층 수준만 개발하면 된다. 그렇지만, 개발장비가 정상적으로 작동하기 위해서는 상위계층이 모두 필요하다고 볼 수 있다. 그리고 VDL M2 데이터링크는 데이터링크 계층과 서브네트워크 계층까지를 포함하는데 이는 VDL M2 통신관리기(CMU)에 포함되는 기능이다. 또한 VDL M2 데이터링크를 시험평가하기 위해서는 상위계층의 기능이 요구되는데 본 연구에서는 AOA망과 응용시스템으로 CPDLC와 ADS 기능을 구현하였다. 따라서 본 연구에서는 연구계획서 상에 언급되어 있는 연구목표 뿐 만 아니라, VDL M2 데이터링크를 시험하기 위하여 추가적인 연구와 장비개발을 추진하여 연구 목표이상 업무를 수행하였다.

본 과제의 최종 목표인 “VHF Data Link Mode 2 송수신기 개발”을 위한 연도별 연구개발 목표는 <표 4-1-3>과 같다. 이와 관련하여 연차별 연구목표 달성도를 살펴보면 다음과 같다.

<표 4-1-3> 연차별 연구목표 및 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구 내용
1차년도	▪ VDL M2 국제 표준 및 규격 분석	▪ ICAO, RTCA, ARINC 등 VDL Mode 2 관련 국제 표준 분석 ▪ VDL M3 기술 분석
	▪ VDL M2 송수신기 개념 설계	▪ VDL Mode 2 송수신기 H/W 분석 ▪ VDL Mode 2 프로토콜 분석 ▪ VHF Data Broadcasting (VDB) 알고리즘 분석 ▪ VDL Mode 2 송수신기 사양 결정
2차년도	▪ VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 기본설계/상세 설계	▪ VDL M2용 VDR, CMU 기본설계 ▪ VDL Mode 2 MAC 설계 ▪ VDL Mode 2 Subnetwork 프로토콜 설계 ▪ VDL M2용 VDR, CMU 상세설계
	▪ 시험평가 기법 및 시험장치 설계	▪ 시험평가 기법연구 ▪ 운용(Application) 시험장비 설계
	▪ VDL M3 프로토콜 연구	▪ VDL M3 Data link layer 프로토콜 연구 ▪ VDB 프로토콜 기본 설계
3차년도	▪ VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 상세설계 완료 ▪ 탑재통신장비 제작 ▪ 지상통신장비 제작 ▪ VDL M2 프로토콜 구현 (S/W 최종완성) ▪ 운용시험장비 제작	▪ VDL M2용 VDR, CMU 상세설계 완료 ▪ VDR, CMU 제작 ▪ 탑재 및 지상통신장비 조립 ▪ VDL Mode 2 MAC, Subnetwork 프로토콜 구현 ▪ 운용 시험장비 제작 ▪ 성능 시험장치(Testbed) 구현
	▪ 지상성능시험(I)	▪ 지상 기능 및 성능 시험
	▪ VDB프로토콜 구현 연구	▪ VDB 프로토콜 구현 연구
	▪ 지적 재산권 자료조사	▪ 항공선진국(미국, 유럽, 일본) 지적재산권(IPR) 자료 조사 ▪ 지적 재산권 대처방안 수립
4차년도	▪ VDL M2 통신시스템 수정보완	▪ 3차년도 시험결과를 기반으로 VDL M2 통신시스템 시스템 수정보완
	▪ 지상성능시험(II)	▪ 수정보완된 시스템에 대한 2차 지상시험 실시
	▪ 환경시험	▪ 환경시험(지상장비 위주로)
	▪ 비행 시험평가	▪ 국토해양부 점검용 항공기 이용한 비행 시험평가 ▪ 국토해양부 항공기 이용 불가시에는 차량탑재시험으로 대체 ▪ 공항/민항기 시스템과 호환성 시험(관련기관 협조시 수행)

1차년도에는 VDL Mode 2 송수신기 개발을 준비하는 개념설계를 수행하였으며 계획된 연구목표를 달성하여 2차년도 상세설계와 제작 착수를 위한 기반을 마련하였다. 아래 <표 4-1-4>에서 1차년도 연구개발 목표에 따른 연구내용과 결과를 요약하였다.

<표 4-1-4> 1차년도 연구목표 대비 연구결과

1차년도 연구개발 내용	연 구 결 과	계획대비 달성도
VDL M2 관련 국제표준 분석	○적용되는 표준 규격서 획득/분류/분석 - ICAO, RTCA, ISO, ARINC 규격 식별 - 구성품별 적용 규격서 분류 ○VDL M2 시스템 요구규격 도출 ○VDL M2 시스템 기능 정의	100%
VDL M2 송수신기 H/W 분석(시스템 규격 결정)	○VDL M2 송수신기 하드웨어 구조 결정 - CMU, VDR 분리형 구조 채택 ○구성품별 기능 정의 ○구성품간 인터페이스 방안 설계 ○Test용 시제 보드 제작/시험 - 물리계층 기능 구현 가능성 확인 ○체계규격서, 구성품별 개발규격서 작성 ○시험평가 방안 및 절차 수립	100%
VDL M2 통신 프로토콜	○프로토콜 구조 분석 ○계층별 프로토콜 주요 특성 분석 - 데이터링크, 네트워크 계층 - 구현방안 정리 - 프로토콜 분석 결과 제시/분석보고서 작성	100%
VDB 기술 및 알고리즘	○위성항법보강시스템별 특징 분석 ○GBAS 서브시스템 요구사항 검토 ○VDB H/W, 송수신 메시지 분석 결과 제시	100%
VDL M3 기술 선행 연구	○VDL M3 기술 분석 ○송수신기 구조 분석 ○VDL M3의 TDMA 기법 연구	100%

2차년도에는 VDL Mode 2 송수신기 기본설계를 완료하였고, 상세설계가 3차년도 초반까지 수행한다. 아래 <표 4-1-5>에서 2차년도 연구개발 목표에 따른 연구내용과 결과를 요약하였다.

<표 4-1-5> 2차년도 연구목표 대비 연구결과

2차년도 연구개발 내용	연 구 결 과	계획대비 달성도
탑재통신장비 HW 기본설계/상세설계	○ VDL M2 운용시나리오 도출 ○ 탑재통신장비 RF/BB 시스템 구성품 기본설계/성능분석수행/입출력 인터페이스 확정 ○ 탑재통신장비 CMU 시스템 구성품 기본설계/입출력 인터페이스 확정	100%
지상통신장비 HW 기본설계/상세설계	○ 지상통신장비 RF/BB 시스템 구성품 기본설계/성능분석수행/입출력 인터페이스 확정 ○ 지상통신장비 CMU 시스템 구성품 기본설계/입출력 인터페이스 확정	100%
VDL M2 통신 프로토콜 기본설계	○ VDL M2 통신 프로토콜 Software Function Flower Diagram 작성 ○ 프리미티브(Primitive)와 파라미터 정의 ○ 소프트웨어 순서도 작성 ○ 소프트웨어 시험절차 작성	100%
시험평가 기법 및 시험장치 기본설계	○ 성능시험장치 기본/상세설계 ○ 시험장치 내/외부 인터페이스 설계	100%
VDL M3 프로토콜 연구	○ VDL M3 개념분석	100%

VDL Mode 2 송수신기를 개발하기 위해, 1차년도에는 VDL M2데이터링크에 대한 개념설계를 수행하였고. 2차년도에는 VDM M2 기본설계를 완료하고 상세설계를 착수하였다. 그리고, 3차년도에는 VDL M2상세설계를 완료하고 각성품을 제작하였다. 그리고, VDL M2데이터링크 시험평가를 위해서 AOA망을 구축하고 CPDLC와 ADS 기능을 포함하는 운용시험장비 상세설계를 완료하고 구현하였다. 아래 <표 4-1-6>에서 3차년도 연구개발 목표에 따른 연구내용과 결과를 요약하였다.

<표 4-1-6> 3차년도 연구목표 대비 연구결과

3차년도 연구목표	연 구 결 과	계획대비 달성도
▪ VDL M2 지상 및 탑재 통신장비 상세설계 완료 ▪ 탑재통신장비 제작 ▪ 지상통신장비 제작 ▪ VDL M2 프로토콜 구현(S/W 최종완성) ▪ 운용시험장비 제작	▪ VDL M2 데이터링크/AOA망/ATS서비스 기능흐름도 설계 및 인터페이스 통제서 작성 ▪ VDL M2 탑재/지상 하드웨어 상세설계 ▪ VDL M2 DL 프로토콜/스택(VME/DLS/MAC) 상세설계 ▪ 탑재통신장비(CMU/VDR) 및 지상통신장비(DSP/GS) 제작 ▪ VDL M2 지상/탑재 프로토콜 및 스택 구현 ▪ 운용 시험장비 제작 및 최종 사용자 인터페이스 설계 ▪ 환경시험 규격 및 시험절차 수립	100%
▪ 지상성능시험(I)	▪ 구성품, 인터페이스 및 체계통합 시험절차서 작성 ▪ VDL M2 프로토콜 분석장비 획득 ▪ 구성품/인터페이스/체계통합시험 수행	100%
▪ VDB 프로토콜 구현 연구	▪ VDB 프로토콜 구현 연구	100%
▪ 지적 재산권 자료조사	▪ 항공선진국(미국, 유럽, 일본) 지적재산권(IPR) 자료 조사 및 본 과제 관련성 분석 ▪ 관련 지적 재산권 대처방안 수립	100%

4차년도에는 3차년도 시험결과를 바탕으로 VDL M2 데이터링크 통신장비의 성능을 개선하고 2단계 지상시험, 환경시험, 비행시험, 공항시설 연동시험, 민항기 연동시험을 실시하였다. 아래 <표 4-1-7>에서 4차년도 연구개발 목표에 따른 연구내용과 결과를 요약하였다.

<표 4-1-7> 4차년도 연구목표 대비 연구결과

4차년도 연구목표	연 구 결 과	계획대비 달성도
▪ VDL M2 통신시스템 수정보완	▪ 3차년도 시험결과를 바탕으로 구성품에 대한 성능개선 수정보완을 수행. ▪ 수정보완된 통신장비는 구성품 시험, 프로토콜 분석 시험 수행하여 기능 및 성능을 확인함.	100%
▪ 지상성능시험(II)	▪ 구성품 수정보완에 따른 3차년도 수행했던 1단계 지상시험을 재실시함. ▪ 2단계 지상시험에 대한 시험절차서 작성 ▪ 지상국을 야외에 설치하고 탑재장비는 차량에 설치하고 저속주행 시험과 고속 주행시험 수행	100%
▪ 환경시험	▪ 환경시험 계획을 수립하고 절차서 작성 ▪ 지상 및 탑재장비에 대해 고온, 저온, 습도, 진동 환경 내구성 시험을 수행 ▪ 지상 및 탑재장비에 대해 전자기 갑섭시험 수행	100%
▪ 비행 시험평가	▪ 비행시험, 공항시설/민항기 연동시험 계획을 수립고 절차서를 작성 ▪ 국토해양부의 협조로 비행 점검용 항공기를 이용한 비행시험 수행 ▪ 한국공항공사의 협조로 김포공항에 설치되어 있는 PDC장비와 연동시험을 수행 ▪ 대한항공의 협조로 민간여객기의 탑재장비와 개발된 지상장비와 PDC자료 전송시험을 수행	100%

아래 <표 4-1-8>은 항공선진화 성과지표에 대한 연구계획서상의 연구목표와 연구실적을 나타낸다. 여기서 보면 연구계획대비 목표가 초과 달성되었음을 알 수 있다.

<표 4-1-8> 항공선진화 성과지표 달성도

구분	성과지표	지표설명	년차별 계획					년차별 실적				
			1차	2차	3차	4차	계	1차	2차	3차	4차	계
항공선진화사업 성과지표	시제품/부품 제작 건수	기술개발로 인하여 발생한 신제품의 실용화 및 사용화 여부 검증을 위하여 제작한 시제품 출시실적				3	3			5	6	11
	소프트웨어(S/W) 등록 건수	해당 연구개발 결과에 대해 국내 및 국외에서 지적재산권 행사를 위해 등록한 소프트웨어				3	3				5	5
	알고리즘 및 S/W 개발	해당과제를 통해 산출된 알고리즘 및 SW 개발 실적			1	1	2			2	2	4
	산학연협력 활동 건수	해당 연구개발사업 수행으로 인하여 발생한 산학연 공동연구 활동실적		1	1	1	3		3	9	4	16
	안전 및 평가기준 건수	연구개발과정에서 도출된 표준안, 기술규격서, 안전기준, 평가기준, 기본상세설계 자료등 기술자료 건수								7		7
	시험평가	연구개발과정에서 실시한 시험, 조사, 관측 등 시험평가 건수	1	1		2	4			3	5	8
일반	학술지 게재 논문건수(국내/국외)		1	2	1	1	5	1	3	1	1	6
	학술회의 발표 건수(국내/국외)		1	1	3	5	10	1	2	7	6	16
	특허									1		1
	사업성과 홍보건수										3	3
	국제정보교류								1	3		4

<표 4-1-9> 항공선진화 성과지표에 따른 SW등록

번호	연도	연구년차	SW명칭
1	2008	4차년도	VDL M2 데이터 통신 링크 계층 프로그램
2	2008	4차년도	VDL M2 항공기 탑재용 AOA 인터페이스 프로그램
3	2008	4차년도	VDL Mode 2 항공데이터링크의 항공국 VME
4	2009	4차년도	VDL M2 데이터 통신 GDSP 프로그램
5	2009	4차년도	VDL M2 지상국 시험용 CPDLC 프로그램

<표 4-1-10> 항공선진화 성과지표에 따른 알고리즘개발

번호	연도	연구년차	알고리즘명칭
1	2007	3차년도	VDL M2 MAC 알고리즘
2	2008	3차년도	VDL M2 DLS 알고리즘
3	2008	4차년도	VDL M2 지상 VME 일고리듬
4	2009	4차년도	VDL M2 항공국 LME 알고리듬

<표 4-1-11> 항공선진화 성과지표에 따른 논문게재

번호	연도	연구년차	논문제목	SCI(E) /일반 학술지	학술지명
1	2005	1차년도	VDL(VHF Digital Link) 모드 3 시스템의 성능 평가	일반	항행학회지
2	2006	2차년도	민간항공용 데이터링크 기술 동향 연구	일반	항공우주산업동향지
3	2007	2차년도	VDL Mode2 송수신기 성능분석 및 협대역 디지털 변조신호 생성	일반	한국항행학회 논문지
4	2007	2차년도	VDL Mode-2 물리 계층 설계 및 성능 분석	일반	한국항행학회 논문지
5	2007	3차년도	AOA망 환경에서 ATS애플리케이션 구현을 위한 VDL Mode2 데이터링크 프로토콜 설계	일반	항공우주시스템공학회지
6	2008	4차년도	HomePlug AV 네트워크에서의 성능 향상을 위한 적응적 Contention Window 조절 방식	일반	한국통신학회지

<표 4-1-12> 항공선진화 성과지표에 따른 논문발표

번호	연도	연구년차	국내/국외	논문제목	학술회의 명칭	개최국명
1	2005	1차년도	국내	VDL(VHF Digital Link) 모드 3 시스템의 성능 평가	2005년 항행학회 학술발표대회	대한민국
2	2006	2차년도	국내	경쟁기반 MAC 프로토콜에서의 다단계 총돌 회피 기법	대한전자공학회 학술대회	대한민국
3	2007	2차년도	국내	VHF Digital Link 2 Mode 시스템에 이용되는 D8PSK 구현 연구	2007년 춘계 마이크로파 및 전파학술대회	대한민국

번호	연도	연구 년차	국내/ 국외	논문제목	학술회의 명칭	개최 국명
4	2007	3차 년도	국외	Link Layer Protocol Design for VHF Data Link Mode 2 Transceiver	ITC-CSCC 2007	대한 민국
5	2007	3차 년도	국내	차세대 항공 데이터 통신 VDL Mode 2 데이터 링크 시스템 설계	2007년도 종합학술대회 (군사과학기술학회)	대한 민국
6	2007	3차 년도	국외	Game Theoretic Analysis of Distributed Certification Authority in Mobile Ad Hoc network	APWCS(Asia Pacific Wireless Communication Symposium) 2007	대만
7	2007	3차 년도	국내	CPDLC 서비스를 제공하는 VDL(VHF Data Link) Mode 2 지상장비 프로토콜 설계	한국항공우주공학회 2007 추계학술발표	대한 민국
8	2007	3차 년도	국내	VDL Mode2 기지간 항공데이터링크 설계	2007년도 한국항행학회 학술대회	대한 민국
9	2007	3차 년도	국내	AOA 기반 VDL Mode 2 상위 계층 프로토콜 설계	항공우주시스템공학회 추계학술대회	대한 민국
10	2008	3차 년도	국외	VDL M2 GS Supporting the ATS Services based on AOA	ITC-CSCC 2008	일본
11	2008	4차 년도	국내	AOA기반의VDLM2 시스템을 위한 보안 시스템 설계	2008년도 한국항행학회 학술대회	대한 민국
12	2008	4차 년도	국내	AOA기반의 VDL (VHFDataLink) Mode2 프로토콜 설계 및 구현	2008년도 한국항행학회 학술대회	대한 민국
13	2008	4차 년도	국내	VDL M2 항공통신 데이터링크 구현에 관한 연구	2008년도 한국항행학회 학술대회	대한 민국

번호	연도	연구년차	국내/국외	논문제목	학술회의명칭	개최국명
14	2008	4차년도	국내	AOA기반의 VDL M2를 위한 AOA 인터페이스 설계 및 구현	2008년도 한국항공우주학회 추계학술대회	대한민국
15	2009	4차년도	국외	Development of Prototype VDL Mode 2 System in Korea	ICNS 2009 Conference	미국
16	2009	4차년도	국외	Ground Link Performance Test Of The VHF Data Link Mode 2 System	ITC-CSCC2009	대한민국

<표 4-1-13> 항공선진화 성과지표에 따른 시제품 제작

번호	연도	연구년차	시제품명	출시일	이용분야
1	2007	3차년도	상하향 변환기 시제품 제작	2007.11.2	VDR 장비 구현
2	2007	3차년도	고출력증폭기 & 스위치 시제품 제작	2007.11.2	VDR 장비 구현
3	2007	3차년도	AD8PSKMD, GD8PSKMD 시제품 제작	2007.11.2	VDR 장비 구현
4	2007	3차년도	DSP 하드웨어 시제품 제작	2007.11.12	VDR 장비 구현
5	2008	3차년도	CMU 하드웨어 시제품 제작	2008.4.8	CMU장비구현
6	2008	4차년도	GCMU 하드웨어 시제품 제작	2008.9.16	CMU장비구현
7	2008	4차년도	AVDR 하드웨어 시제품 제작	2008.9.23	VDR 장비 구현
8	2008	4차년도	ADSC 지도현시 시스템	2008.11.11	ADSC지도현시 시스템구현
9	2008	4차년도	GVDR 시제품	2008.10.29	지상국 구성품
10	2009	4차년도	AAS 시제품	2009.03.24	AAS(탑재운용 시험장비) 구현
11	2009	4차년도	GAS 시제품	2009.03.24	GAS(지상운용 시험장비)구현

<표 4-1-14> 항공선진화 성과지표에 따른 국제협력 활동

번호	연도	연구 년차	대상 기관명	기간	정보교류 내용
1	2007	2차 년도	ADS(Aviation Data Systems Pty Ltd)	2007.4.12 ~ 2007.4.13	개발되는 VDL M2 장비의 성능 검증을 위한 VDL M2 Test & Monitoring 장비의 요구조건과 현황에 대해 토의하고, VDL M2 구현에 대한 기술 이전 또는 기술자문 방안과 내용에 대해 토의함.
2	2007	3차 년도	ADS(Aviation Data Systems Pty Ltd)	2007.8.20 ~ 2007.8.23	지상시험감시장비 수락시험 VDL M2 시스템, ACARS, AOA에 대한 RTCA 문서 및 ARINC 문서 기반 기술교육 시스템 구성 안 및 설계에 대한 기술자문 구체 협의
3	2007	3차 년도	ADS(Aviation Data Systems Pty Ltd)	2007.12.10 ~ 2007.12.14	VDL M2 상세설계 결과물과 구현에 필요한 기술에 대한 기술 자문을 위해 KARI와 호주 ADS사간 기술자문 계약에 대한 업무정의와 기간, 비용 등에 대한 협의을 추진하여, 2007년 11월 01일부터 2008년 04월 30일까지의 기술자문 계약을 체결함
4	2008	3차 년도	ADS(Aviation Data Systems Pty Ltd)	2008.3.4 ~ 2008.3.7	VDLM2 탑재시험 감시장비 수락시험, 소프트웨어 인터페이스 시험, AOA소프트웨어 모듈 인터페이스 시험, AOA/VME소프트웨어기술자문, VDLM2 소프트웨어 운용교육 , ADS사 MVDL시스템의 VDR/CMU 소프트웨어 구현 구조 검토, ATNDecoder기술소개 및 활용 방안토의, 향후 기술자문계획 토의

<표 4-1-15> 항공선진화 성과지표에 따른 특허출원

번호	연도	연구년차	출원/등록	특허명칭	출원번호	출원국	출원인명(법인명)
1	2007	3차년도	출원	항공장애물 정보 종합 자동방송장치	10-2007-0137035	대한민국	한국항공우주연구원

<표 4-1-16> 항공선진화 성과지표에 따른 산학연협력활동

번호	연도	연구년차	공동연구 내용	공동연구 시작일	공동연구 종료	참여기관명
1	2007	2차년도	VDL M2 3차 PRM	20070125	20070125	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
2	2007	2차년도	VDL M2 4차 PRM	20070101	20070101	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
3	2007	2차년도	VDL M2 PDR	2070322	20070322	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
4	2007	3차년도	VDL M2 상세설계 검토회의(CDR)	20070323	20071227	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브, 서울대학교, 경희대학교
5	2007	3차년도	VDL M2 하드웨어 분야 CDA	20070323	20071121	한국항공우주연구원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
6	2007	3차년도	VDL M2 CDA for SW and Application System	20070510	20071107	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브, 서울대학교

번호	연도	연구년차	공동연구 내용	공동연구 시작일	공동연구 종료	참여기관명
7	2007	3차 년도	VDL M2 5차 PRM 및 3차년도 Kick-off	20070518	20070904	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
8	2007	3차 년도	VDL M2 6차 PRM회의	20070905	20071107	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브, 서울대학교
9	2007	3차 년도	VDL M2 사업 책임자 회의	20071106	20071106	한국항공우주연구원, 파인텔레콤
10	2008	3차 년도	VDL M2 개발 진도점검 워크샵	20080213	20080213	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브, 서울대학교, 경희대학교
11	2008	3차 년도	VDL M2 개발 진도점검 워크샵(8차 PRM)	20080328	20080328	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브, 서울대학교, 경희대학교
12	2008	3차 년도	VDL M2 개발 진도점검 워크샵(9차 PRM)	20080610	20080610	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
13	2008	4차 년도	VDL M2 개발 4차년도 사업착수 회의	20081001	20081001	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
14	2009	4차 년도	VDL M2 개발 TRR 및 11차 PRM회의	20090106	20090106	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브
15	2009	4차 년도	VDL M2 개발 12차 PRM회의	20090312	20090312	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브

번호	연도	연구년차	공동연구 내용	공동연구 시작일	공동연구 종료	참여기관명
16	2009	4차 년도	VDL M2 개발 13차 PRM회의	20090625	20090625	한국항공우주연구원, LIG넥스원, 파인텔레콤, 리얼타임웨이브

<표 4-1-17> 항공선진화 성과지표에 따른 시험평가 목록

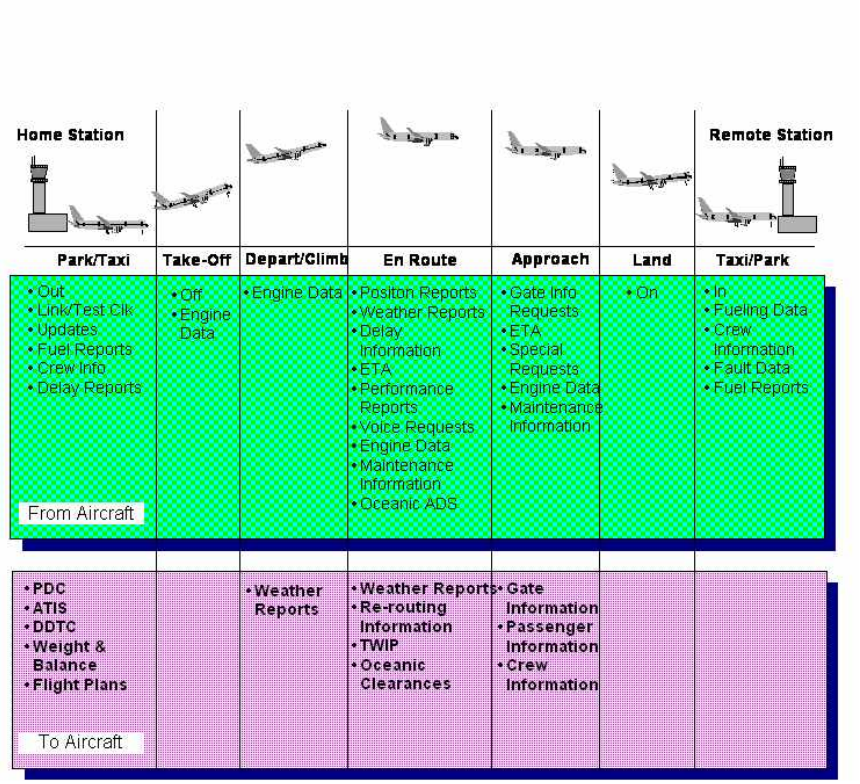
번호	연도	연구년차	시험평가명칭	시험평가일	목적	주요내용
1	2008	3차 년도	탑재 CMU 성능시험	2008-03-12	항공기 탑재용 CMU 성능시험 평가	탑재용 CMU 구성품 성능시험
2	2008	3차 년도	운용시험장비 성능시험	2008-04-03	운용시험장비 구성품 성능시험	지상/탑재 운용시험 장비 구성품간 인터페이스 성능시험
3	2008	3차 년도	지상 Ground Station 단품 성능시험	2008-04-15	지상 Ground Station의 기능 및 성능이 ICAO 규격을 준수하는지를 판단	지상 Ground Station의 기능에 따른 성능시험 - 프레임 전송, 타이머, 파라미터 시험
4	2008	4차 년도	VDL M2 Ground DSP 단품성능시험	2008-04-15	지상 DSP 동작시험(SW위주 시험)	지상 DSP의 기능에 따른 성능시험
5	2008	4차 년도	VDL M2 탑재장비 인터페이스 시험	2008-05-07	탑재장비 인터페이스 시험	탑재장비의 VDR, CMU, 운용시험장비간 인터페이스 시험
6	2009	4차 년도	VDL M2 Lab Test	2009-02-18	VDL M2 Lab 단위 연동 동작시험	지상/탑재 및 운용시험장비의 통신 및 프로그램 동작시험

번호	연도	연구년차	시험평가명칭	시험 평가일	목적	주요내용
7	2009	4차 년도	VDL M2 1차 비행시험	2009-04-17	국토해양부 점검기를 이용한 VDL M2 시스템 동작시험	국토해양부 점검기를 이용하여 VDL M2 시스템 동작시험 수행을 통해 시스템 성능 및 운용반경 검증
8	2009	4차 년도	VDL M2 2차 비행시험	2009-04-23	국토해양부 점검기를 이용한 VDL M2 시스템 동작시험	국토해양부 점검기를 이용하여 VDL M2 시스템 동작시험 수행을 통해 시스템 성능 및 운용반경 검증

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 항공통신분야의 기여도

VDL Mode 2 송수신기는 항공운항통신으로 주로 사용되는 ACARS 시스템을 대체하고 미래 구축이 계획된 항공종합통신망(ATN)을 기반으로 한 신규 항공교통서비스(Air Traffic Service) 구축에 활용될 것이다. 아래 그림은 현재 데이터링크를 이용한 비행단계 별 이용 가능한 민간항공용 애플리케이션을 보여주고 있으며 이를 응용분야 별로 요약하면 <표 4-2-1>과 같다.



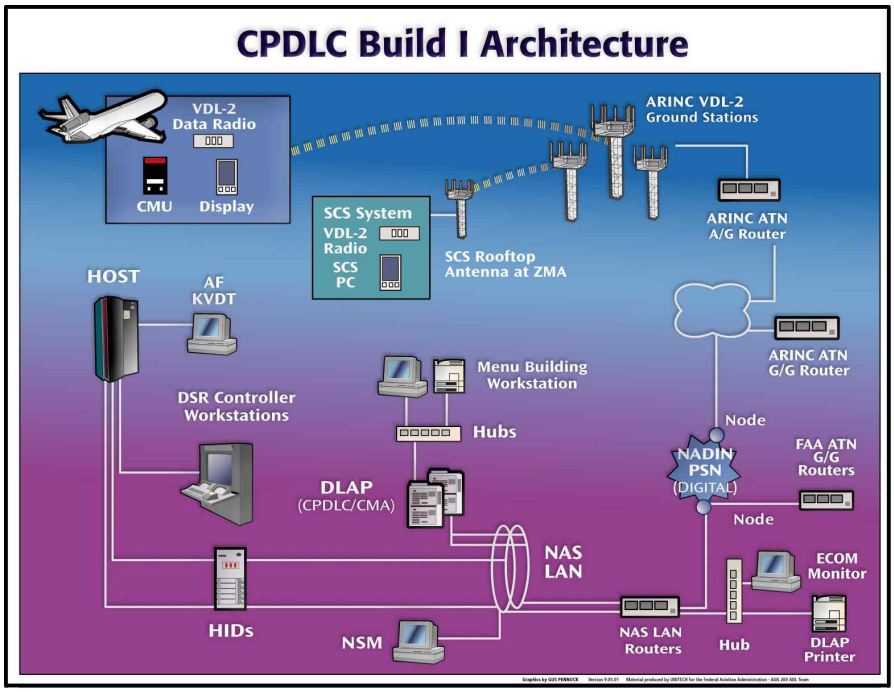
<그림 4-2-1> 비행단계별 데이터링크 애플리케이션

<표 4-2-1> 공지간 항공통신 응용분야 및 응용 애플리케이션 요약

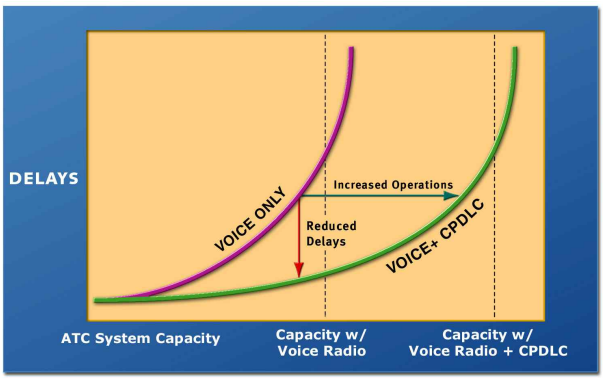
구 분		응 용(컨텐츠)	비고
ATS	ATC	ADS-B, ADS-C, CPDLC, D-ATIS, TWIP, PDC/DCL, TIS-B, FIS-B	
	Cockpit	PDC, TWIP, D-ATS, Weather	
AOC	운용	Weight & Balance, Flight Following, OPS Dispatch, Sky Source, Weather, DDTC, OOOI, FOQA	
	정비유지	MOQA, Diagnostics, Live Maintenance, Aircraft Performance	
AAC		Gate Assignments	
APC		Voice, Internet, FAX, E-mail	

VDL Mode 2 데이터링크는 공지간 데이터 전송을 위한 통신장비로 아래 그림과 같은 CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communication) 서비스 구축에 활용되어 음성 중심의 항공관제를 줄여 조종사와 관제사의 정보교환에 편의성과 완전성을 배가시키고 결과적으로 항공교통인프라의 효율화와 항공 안전에 기여할 것으로 기대된다.

또한 향후 VDL Mode 4, UAT 및 미래통신시스템과 같은 기술 개발에도 VDL Mode 2 기술을 기반 기술로 활용할 수 있을 것이며, 위성항법보강시스템(GBAS, GRAS)을 위한 보정정보 방송 링크로써 VDL Mode 2 송수신기와 물리계층이 거의 동일한 VHF Data Broadcast (VDB) 장비 개발을 용이하게 하는 부수적인 효과를 얻을 수 있다.



<그림 4-2-2> CPDLC 시스템 예시



<그림 4-2-3> CPDLC 도입의 효과

본 과제가 수행되기 이전의 항공통신은 해외 데이터링크 서비스 제공업체에서 구축한 ACARS 데이터통신 인프라를 사용 중이며 탑재 장비의 경우에도 해외업체로부터 전량 수입에 의존하고 있다. 그리고, 항공 데이터통신을 이용한 통신응용 부분에서는 한국공항공사에서 항공교통서비스로 ACARS 망을 활용한 PDC, D-ATIS 시스템을 국내에서 개발하여 활용 중에 있다.

본 과제를 통해서 CNS/ATM환경 하에서 다양한 서비스를 제공하기 위해 제안된 항공이동통신 기술 현황에 대하여 자료를 조사하고 ATN망에서 공지간 이동통신 서브네트워크로써 가장 중요한 위치를 차지할 VDL Mode 항공데이터링크를 설계하고 구현하였다. 설계된 VDL M2 데이터링크는 OSI 7계층을 기준으로 물리계층, 데이터링크 계층 및 서브네트워크계층까지를 포함하며 링크를 구성하는 장비는 탑재통신장비와 지상통신장비로 구성된다. 탑재 통신장비는 통신관리기(CMU : Communication Management Unit)와 VHF 송수신기(VDR : VHF Data Radio)로 이루어지며, 지상통신장비는 데이터링크서비스처리기(DSP : Datalink Service Processor)와 지상국(GS : Ground Station)으로 이루어진다. 그리고, VDL은 네트워크 중심 통신시스템으로 기능시험을 위해서는 통신망이 요구되며, 본 연구에서는 AOA(ACARS over AVLC)망을 DSP와 CMU에 구현하였다. 또한 VDL M2 운용성 평가를 위해 운용시험장비를 개발하였으며, 여기에는 FANS-1/A에서의 핵심 기능인 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications), ADS-C(Automatic Dependent Surveillance -Contract) 기능을 구현하였다. 개발된 VDL M2 통신시스템은 구성품, 인터페이스, 프로토콜분석, 환경시험. 1, 2단계 지상시험, 비행시험, 공항시설 및 민항기 연동시험을 통해 국제 기술 표준/규격을 만족하고 있음을 입증하였다. 그리고 비행시험을 통해서는 실 비행환경에서의 통신성능을 확인하였으며 약 310Km까지 안정적인 통신이 가능함을 확인하였다.

본 과제를 수행하기 전에는 해외 기업에서 구축한 통신인프라를 이용하여 간단한 애플리케이션인 PDC, D-ATIS기능을 구현할 수 있는 정도의 기초적인 기술 정도를 보유한 수준이었다. 본 과제 수행을 통해 항공통신 시스템 전반에 대한 구조에 대한 기술을 습득하였다. 과제 수행 전·후에 대한 국내 기술 수준을 비교해보면 <표 4-2-2>와 같이 요약할 수 있다. 장비 설계와 관련해서는 VDL M2 데이링크를 구성하고 있는 탑재 송수신기, 통신관리기, 지상국에 대한 기술을 확보하였으며 데이터링크서비스처리기와 관련해서는 AOA망 인터페이스 기술, 아키텍쳐 설계기술 등을 확보하였다. 항공통신 응용 컨텐츠와 관현해서는 FANS 1/A의 핵심기능인 AFN, CPDLC, ADS-C 기능을 설계 구현하여 이와 관련된 응용 애플리케이션 기술도 확보하였다. 장비 제작과 관련해서는 탑재 송수신기(VDR), 탑재통신관리기(CMU), 지상국(GS), 데이터링크서비스처리기(DSP), CPDLC, ADS-C 애플리케이션 서버를 구현할 수 있다. 시험평가와 관련해서는 구성품시험, 인터페이스 시험 및 비행시험, 민항기 연동시험에 대한 기술을 확보하였으며 이는 향후 국내 개발되는 항공통신장비나 인프라 구축시에 기반기술로 활용되어 개발기간 단축 및 인프라 구축 효율성을 제고하여 관련비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 무엇보다 우리나라 공역(FIR : Flight Information Region)을 비행하는 항공기에 독자적으로 항공안전에 필요한 각종정보를 제공할 수 있는 능력을 가질수 있게 되어 항공통신 기술자립을 이룩할 수 있는 기반을 다졌다는데 매우 큰 의미가 있다.

<표 4-2-2> 과제 수행 전·후 항공통신분야 국내 기술 수준 비교

기술항목	과제 수행 전		과제 수행 후	
	보유기술 현황	기술 수준	보유기술 현황	기술 수준
항공통신 인프라 기술	• 해외업체(SITA, ARINC 사)에서 국내인프라 구축	10%	• 국내 인프라 구축에 필요한 기반 기술 확보	50%
항공통신 시스템 기술	• 민간 항공통신 분야 개념정립 단계	15%	• 항공통신시스템 아키텍쳐 설계 기술 확보 • Test-Bed 구축 기술 보유	70%
VDL M2 데이터링크	• 항공 데이터링크에 대한 기술 미보유 • 상용분야 첨단 IT기술 보유	20%	• 탑재 통신장비 설계 및 시험평가 기술 확보 • 지상국 설계 및 시험평가 기술 확보	95%
기타 데이터 통신기술	• 항공 데이터링크에 대한 기술 미보유 • 상용분야 첨단 IT기술 보유	20%	• ACARS 연동기술 확보 • VDB 모뎀기술 확보 • SDR기술 확보	50%
항공통신망 기술	• 항공 이동통신망 기술 미보유 • 지상 통신망 자체구축 중	40%	• AOA 인터페이스 기술 확보 • 사용자 연동 기술 확보	60%
항공통신 프로토콜 기술	• SITA사의 DSP와 연동할 수 있는 기술 확보	30%	• SITA DSP 연동시험 기술 확보 • 민항기 연동시험 기술 확보 • MDL M2, VDB 프로토콜 설계 기술 확보	70%
항공통신 응용컨텐츠 기술	• DPC, D-ATIS 개발 및 서비스 제공	40%	• CPDLC, AFN, ADS-C 응용 컨텐츠 구현 기술 확보	60%
항공통신 시험평가 기술	• 시험평가 경험 전무	10%	• 구성품, 환경시험, 지상시험, 민항기 연동시험, 비행시험기술 확보	50%

2. 파급효과 및 전망

1980년대부터 급격하게 증가하는 항공교통량에 대한 대책으로 1983년 국제민항기구(ICAO)는 1983년 미래항공항법시스템(FANS:Future Air Navigation Systems) 연구를 시작하여 1991년에 차세대항행시스템(CNS/ATM : Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management)의 개념을 정립하고, 2016년 이후 이를 국제표준시스템으로 전환 운용할 계획을 수립하였다. 이에 전 세계적으로 항공 통신, 항법, 감시 및 항공교통관리 분야의 항행안전시설과 항공전자장비의 기술개발과 변화가 진행되고 있다.

현재까지 항공통신은 조종사와 관제사간의 아날로그 음성통신에 의존하고 있는데, 음성중심의 통신시스템은 조종사와 관제사간 의사소통 오류가 발생할 위험이 있으며 항공교통량 증가에 따른 주파수 자원부족 문제를 야기 시킬 것으로 예상되고 항공교통의 운항안전성을 개선하기 위한 다양한 새로운 항공교통서비스의 제공에 어려움이 있다. 또한 무엇보다도 첨단과학기술의 발달로 모든 분야에서 자동화 및 무인화로 변화되고 있으며 이러한 변화는 항행안전시설에도 필연적으로 도입될 것이며 이러한 자동화 및 무인화를 항행안전시설에 적용하기 위해서는 항공통신 데이터 기술이 필수적이다.

이러한 문제점을 해결할 뿐만 아니라 국제민간항공기구의 정책에 적극적으로 부응하고 항공통신 및 항행안전시설 관련 독자적인 기술 확보를 위해 2005년에 우리나라 최초로 민간항공용 차세대 무선데이터링크 VDL(VHF Data Link) 모드 2 핵심기술 개발에 착수하였다. 본 개발은 2005년 7월을 시작으로 4년간 개발되었으며, 2009년 4월에 국토해양부 점검기를 활용한 비행시험을 성공적으로 완수하였다.

본 과제에서는 CNS/ATM환경 하에서 다양한 서비스를 제공하기 위해 제안된 항공이동통신 기술 현황에 대하여 자료를 조사하고 ATN망에서 공지간 이동통신 서브네트워크로써 가장 중요한 위치를 차지할 VDL Mode 항공데이터링크를 설계하고 구현하였다. 설계된 VDL M2 데이터링크는 OSI 7계층을 기준으로 물리계층, 데이터링크 계층 및 서브네트워크계층까지를 포함하며 링크를 구성하는 장비는 탑재통신장비와 지상통신장비로 구성된다. 탑재 통신장비는 통신관리기(CMU : Communication Management Unit)와 VHF 송수신기(VDR : VHF Data Radio)로

이루어지며, 지상통신장비는 데이터링크서비스처리기(DSP : Datalink Service Processor)와 지상국(GS : Ground Station)으로 이루어진다. 그리고, VDL은 네트워크 중심 통신시스템으로 기능시험을 위해서는 통신망이 요구되며, 본 연구에서는 AOA(ACARS over AVLC)망을 DSP와 CMU에 구현하였다. 또한 VDL M2 운용성 평가를 위해 운용시험장비를 개발하였으며, 여기에는 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications), ADS-C(Automatic Dependent Surveillance -Contract) 기능을 구현하였다. 개발된 VDL M2 통신시스템은 구성품, 인터페이스, 프로토콜분석, 환경시험. 1, 2단계 지상시험, 비행시험, 공항시설 및 민항기 연동시험을 통해 국제 기술 표준/규격을 만족하고 있음을 입증하였다. 그리고 비행시험을 통해서는 실 비행환경에서의 통신성능을 확인하였으며 약 310Km까지 안정적인 통신이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서는 항공 데이터링크 통신시스템을 국내 최초로 개발함으로 인해 국내 연구 인프라 부족에 의해 연구초기 많은 시행착오를 겪었으나 철저한 연구목표 관리와 체계적인 연구수행을 통해 성공적인 연구 수행을 추진할 수 있었다. 그리고 비행시험, 공항시설 및 민항기 연동시험을 통해 개발장비의 성능 우수성과 환벽한 호환성을 입증하였다. 이번 개발 성공으로 우리나라 영공을 비행하는 항공기에 독자적인 정보를 제공할 수 있는 항공통신 핵심기술과 CPDLC, ADS 등 항공교통안전 및 항공기 운항관리에 필요한 다양한 응용 애플리케이션 개발 기술도 확보하였으며 이는 앞으로 항공교통의 안전성과 항공운항의 효율성을 크게 개선하여 관련비용을 절감하는 계기가 될 것으로 판단된다. 그리고 개발된 데이터통신장비는 국내 지상인프라 구축을 통해 국내 항공이동통신 서비스를 독자적으로 수행함으로 그 동안 해외 통신사업자에게 지불되던 통신비용의 유출을 방지하고, 향후 항공안전 및 운항효율화를 위한 새로운 서비스를 독자적으로 구축할 수 있는 기반을 만들 것이다.

현재 우리나라의 항공 및 항행안전과 관련한 기술과 산업은 선진국 대비 매우 기반이 취약한 상태로 항공선진국으로 도약하기 위해서는 선진국의 기술선점과 국내 시장규모 미약과 같은 높은 장벽이 우리가 넘어야 할 과제이다. 이러한 장벽을 넘기 위해서는 우리나라의 강점 기술인 IT기술을 항공분야에 적극적으로 활용하고, 국제표준에 부합하는 시스템을 개발하여 상용제품의 국제화에도 적극적으로 대처하여야 한다. 이번에 항공 무선데이터링크 기술 개발의 성공은 우리나라의 항공선

진화를 향한 IT기술의 항공분야 접목을 보여주는 좋은 계기가 되고 있다. 이번 개발 성공으로 우리나라 공역을 비행하는 항공기에 독자적인 정보를 제공할 수 있는 핵심기술을 확보하였으며 이는 앞으로 항공교통의 안전성과 항공운항의 효율성을 크게 개선하여 관련비용을 절감하는 계기가 될 것으로 판단된다.

최근 들어 자동차, 조선, 항공 등에서는 전통적인 산업에 새로운 첨단기술을 접목하는 기술 컨버전스의 영향이 빠른 속도로 파급되면서 IT, 바이오, 에너지 등의 기술과 접목 제품의 경쟁력 강화와 기술의 차별화를 시도하고 있다. 특히, 항공 및 항행안전시설 분야에 일반 상업용 제품(COTS) 기술 도입과 IT 기술 접목 현상이 두드러지고 있다. 이러한 현상은 IT기술이 발전한 우리에게는 항공강국으로 발돋움할 수 있는 호기이며 이를 적극적으로 활용할 수 있는 정책적인 배려와 지원이 있어야 할 것이다. 그리고, 이를 통해 세계적인 항공 및 항행안전 기술을 선도하여 국가 위상제고는 물론 항공산업 경쟁력 강화를 통해 한국경제의 미래를 이끌어 갈 신성장동력으로 삼아야 할 것이다.

가. 과학·기술적 관점

○ 우리나라 영공(FIR : Flight Information Region)을 비행하는 항공기에 항공안전에 필요한 정보를 독자적으로 제공할 수 있는 능력 보유

○ CPDLC, ADS-C, FIS-B 등의 서비스를 제공할 수 있는 VDL Mode 2 데이터링크 개발로 항공운항안전을 크게 개선하고, 관련기술을 항행안전설비가 미비한 공항을 이용하는 항공기, 헬기, 소형기 등에 적용한다면 해당 항공기의 비행 안전성을 획기적으로 개선

○ 본 과제는 국내 최초로 민항기분야 항공 데이터통신 데이터링크를 개발하는 과제로 항공통신 연구 및 기술개발 환경 및 인프라를 조성하고, 항공통신에 필요한 기반기술은 물론 VDL M2 데이터링크와 관련한 핵심기술도 확보하여 향후 항공통신시스템 인프라 기술을 독자적으로 개발할 수 있는 기반을 조성하였음

○ 디지털 데이터 통신방식 사용에 따른 항공교통증가에 따른 주파수 자원부족 문제 해결 및 음성대신 데이터 전송으로 음성 부정확성으로 발생될 수

있는 항공교통 위험성을 해소하여 항공교통 운항안전성을 크게 개선

○ CNS/ATM 핵심요소 기술인 데이터통신 및 데이터링크 기술 확보로 항행안전시설 및 항행체계에 대한 기술자립 및 기술 경쟁력 향상 기반을 구축

나. 사회·문화적 관점

○ 항공안전에 필요한 다양한 정보를 제공할 수 있는 기술 및 경험 보유로 향후 항공교통 안전성 및 운항 효율성을 획기적으로 개선할 수 있음

○ 항공교통 안전성 개선으로 항공교통 및 항공레저 활성화로 국민의 삶의 질 향상 기대

○ 조종사와 관제사 간의 통신 편이성 향상으로 항공교통 운항 효율성 제고 및 안전성 향상 도모

○ 항공교통은 국제간 인적·물적 교류의 가장 중요하고(여객수송의 93% 담당) 빠른 수단으로 국가산업의 경쟁력과 성장을 좌우하는 인프라로 작용하므로, 국가적인 항공안전시스템의 구축은 국민의 안전 확보 차원을 넘어 국가경쟁력 및 생존경쟁 제고

○ 국제민항기구의 항행안전시설 구축 및 성능 개선에 적극적으로 부응함에 따라 선진기술 확보는 물론 항공강국으로써의 국가 위상제고

○ 국제 민항기구의 CNS/ATM에 대한 정책에 적극적으로 동참하여 국가 위상을 제고하고 동북아 항공교통물류 허브 국가로 도약

○ 무국경 지구촌화를 가능하게 하고 이를 더욱 가속화시키는 기능을 수행할 수 있는 바탕 형성

다. 경제·산업적 관점

○ 기존 시스템(ACARS, VDB 송신기)을 대체하는 CNS/ATM 국제 표준설비 구축시 국내 개발 통신시스템 적용으로 수입대체 효과는 물론 동 분야 기술 확보에 따른 국내 독자 운용유지 가능으로 관련 비용 크게 절감

○ 항공통신 지상인프라 구축시 본 과제에서 개발된 장비를 활용함으로 수입대체효과 및 선진국 대비 가격경쟁력 확보로 고부가 항공통신장비 수출기반 마련

○ 항공통신분야 인력, 시설, 인프라 구축으로 동 분야 산업 활성화 기대

○ 우리나라 항공교통량 성장율은 연평균 10%로서 세계평균 성장률(연평균 5%)의 2배에 달하며, 매 7.5년마다 항공교통량이 2배로 증가하고 있으므로 이러한 추세가 지속될 경우 주파수 자원 부족 및 운항지연 초래에 따른 직접적인 경제적인 손실은 물론 항공 물류지연에 따른 산업전반적인 간접적인 손실이 매우 클 것으로 예상되는데 본 과제 수행을 통해 이러한 문제를 미연에 방지

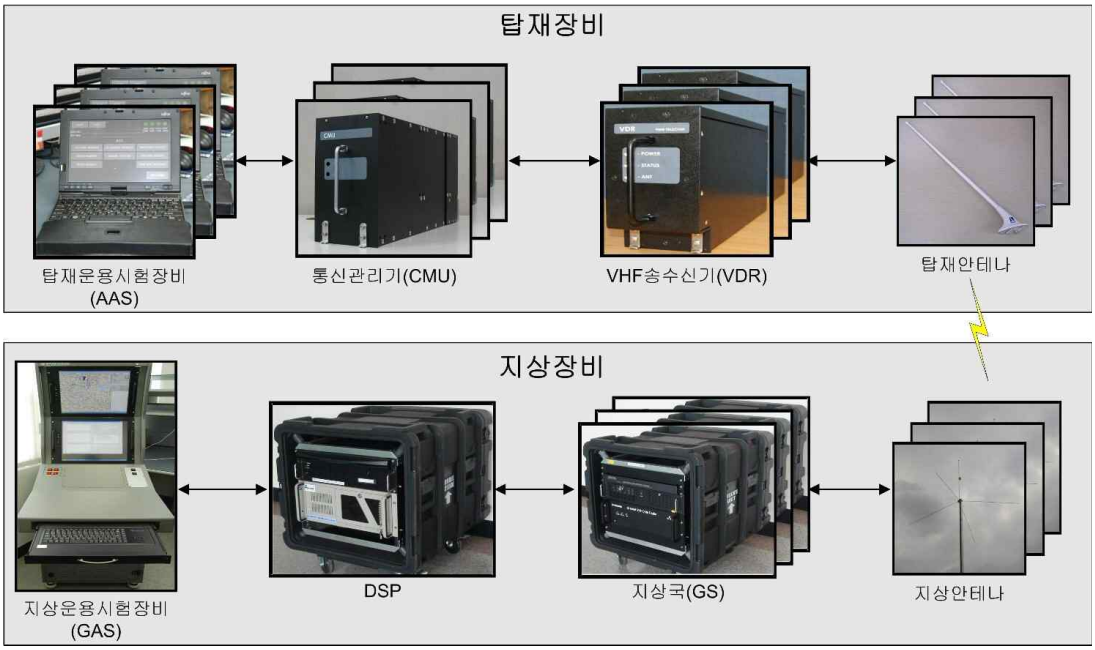
○ 또한, 우리나라의 발전된 IT기술과 항공통신 기술을 접목한다면 단시일 내에 선진국 수준의 항공통신기술을 확보할 수 있고 이를 통한 항공통신 산업을 일으킬 수 있을 것으로 기대.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

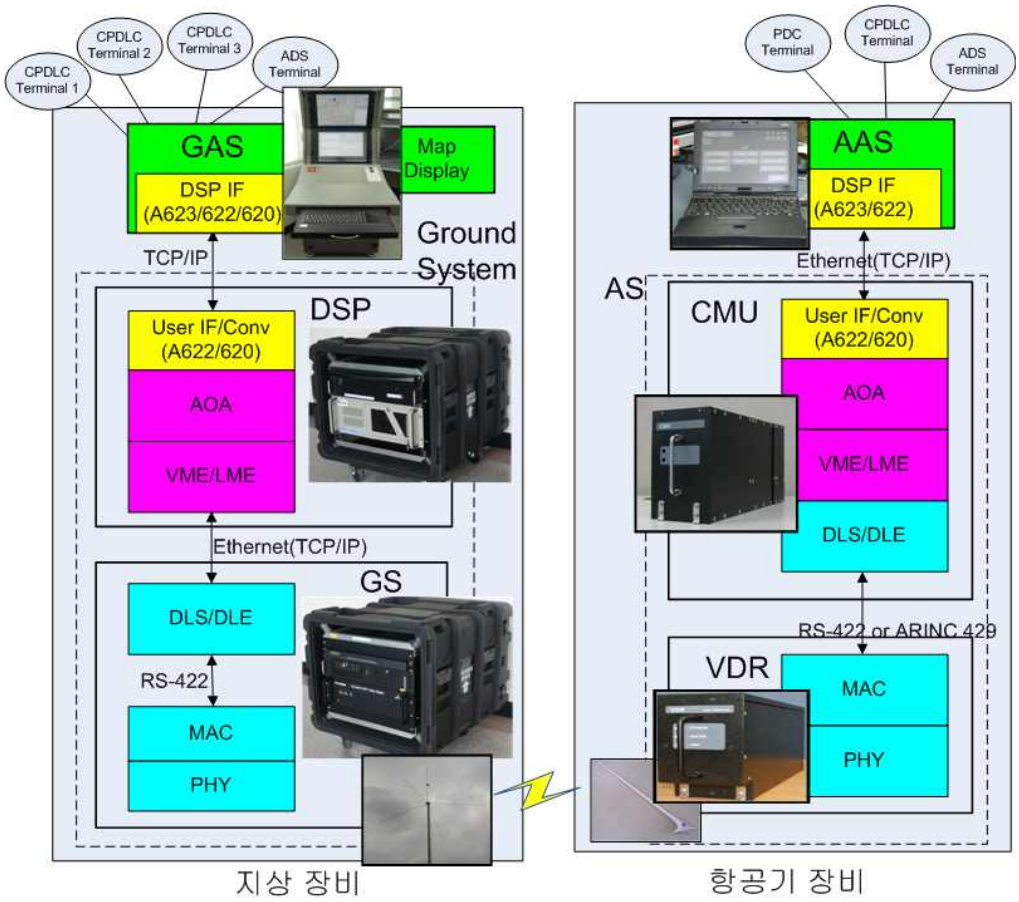
VDL M2는 21세기 차세대항행시설의 통신기술로 중추적인 역할을 담당할 것으로 판단됨으로, 본 연구를 통해 확보된 핵심기술, 시험평가기술과 경험은 차세대 항공통신 인프라 기술개발 및 항공통신 지상 인프라 구축 시 활용되어 해당 업무의 효율성을 제고하여 업무기간 단축 및 비용절감을 꽤할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 본 과제를 통해 개발된 지상국은 상업화를 추진하여 국내 VDL M2 데이터링크 서비스 구축시 지상국으로 활용할 계획이다. 또한, 본 연구를 통해 개발된 기술은 민간항공인프라 뿐만 아니라 그 다양한 분야에 활용이 가능하며, 특히, 군사적인 목적의 기술로도 활용도가 매우 클 것으로 판단된다.

제 1 절 연구시제품 활용

본 과제를 통해 제작된 연구시제품은 <그림 5-1-1>과 같이 탑재장비로는 송수신기(VDR), 통신관리기(CMU)와 탑재운용시험장비(AAS: Airborne Application System)로 구성되고, 지상장비로는 지상국(GS), 데이터링크서비스처리기(DSP) 및 지상운용시험장비(GAS: Ground Application System)로 구성된다. 시제품 제작은 환경시험용으로 탑재장비 1조와 지상국 1조를 제작하였으며 다중접속 및 핸드오프 시험을 위해 탑재장비 2조와 지상국 2조를 제작하였다. 그리고 DSP와 지상운용시험장비는 일반적인 컴퓨터로 COTS제품을 사용하므로 환경시험을 수행하지 요가 없으므로 환경시험용으로 제작하지 않아 기능 및 성능시험에 필요한 1조만 제작하였다. 본 과제에서 제작한 연구시제품 중에서 환경시험으로 활용한 1조는 기계적/전기적 극한 환경이 장비에 가해져서 향후 활용이 불가능 상태이므로 향후 Test-Bed로 활용 가능한 연구시제품은 탑재송수신기(VDR) 2조, 탑재통신관리기 2조, 탑재운용시험장비 2조, 지상국 2조, DSP1조 및 지상운용시험장비 1조가 있다. 그리고 지상 및 탑재 운용시험장비는 VDL M2의 기능, 성능 및 운용성 시험평가에 활용되며 ATS 응용 애플리케이션으로 AFN, CPDLC, ADS-C기능을 구현하였다. 각 구성품에 포함되어 있는 스택 및 기능 분할과 구성품간 인터페이스는 그림 10에 나타나 있다.



<그림 5-1-1> 제작된 연구시제품 구성도



<그림 5-1-2> 연구시제품 구성품의 기능 분할

1. 항공통신 및 운용체계 기술개발 Test-Bed로 활용

본 과제에서 제작된 연구시제품 중 1조는 <그림 5-2-3>의 국내 CNS/ATM 연구개발 로드맵에 의거 “차세대 항공통신 인프라 기술 개발”과제와 “차세대 항공통신 운용체계 기술개발”과제 수행시 항공통신 데이터링크 Test-Bed로 활용할 수 있도록 하여 연구업무의 효율성을 기하도록 하고자 한다.



<그림 5-2-3> 국내 CNS/ATM 연구개발 로드맵

2. 항공관제장비 개발 Test-Bed로 활용

본 과제에서 제작된 연구시제품 중 나머지 1조는 <그림 5-2-3>에 나타나 있는 “항공관제장비 개발” 과제에서 항공통신 데이터링크를 이용한 CPDLC기능을 개발하기 위한 Test-Bed로 활용할 수 있도록 하여 연구업무의 효율성을 기하도록 하고자 한다. 본 과제에서도 일부 기능을 구현 CPDLC기능은 <그림 5-1-4>와 같이 기존 음성통신으로 조종사와 관제간의 항공교통관제가 이루어 졌으나 음성통신

은 의사소통에 음성인식 오류가 발생할 수 있어 향후에는 조종사와 관제사간에는 문자(데이터)통신으로 관제가 이루어져 음성인식과 같은 오류를 예방할 것으로 판단된다.



<그림 5-1-4> 항공통신 데이터링크를 이용한 항공관제 운용개념

3. 연구시제품의 활용전략

본 과제를 통해 제작된 연구시제품은 주관기관에서 시제품을 종합관리하고 연구시제품 활용기관에서 쉽게 장비를 운용할 수 있도록 장비를 제작한 참여기관에서에서 장비설치, 운용 및 정비교범을 작성한다. 작성된 교범과 시제품을 장비활용기관에 이관하여 기술개발 Test-Bed로 활용할 수 있도록 한다. 또한 초기 장비 운용을 할 수 있도록 주관기관에서 단기 교육을 실시한다. 이와 관련한 전반적인 일정은 <표 5-1-1>과 같이 추진할 계획이다.

<표 5-1-1> 연구 시제품 활용 추진전략

연도	활용계획
사후 1년(2010)	• 연구시제품 중에 1조를 항공관제장비 개발기관에 대여하여 데이터링크 Test-Bed로 활용
사후 2년(2011)	• 항공관제장비 개발기관에서 CPDLC 개발 Test-Bed로 활용
사후 3년(2012)	• 항공관제장비 개발기관에서 CPDLC 개발 Test-Bed로 활용 • 나머지 연구시제품 1조는 항공통신 인프라기술개발에 VDL M2 데이터링크 Test-Bed로 활용
사후 4년(2013)	• 연구시제품 1조는 항공통신 인프라기술개발에 VDL M2 데이터링크 Test-Bed로 활용
사후 5년(2014)	• 연구시제품 1조는 항공통신 인프라기술개발에 VDL M2 데이터링크 Test-Bed로 활용

▣ 상용화 방안

○ 본 과제는 항공안전을 위해 활용되는 항공통신장비를 개발, 공익적인 차원으로 활용되는 시스템으로 공공기관 수요 창출이 우선시되어야 한다고 사료됨.

○ 국내 항공통신 인프라 구축시, 본 과제에서 개발된 지상국을 참여기업에서 제품화를 추진하여 VDL M2 데이터링크 서비스 구축시 지상국으로 활용할 수 있도록 상업화를 추진.

제 2 절 획득기술 활용

본 과제에서는 CNS/ATM환경 하에서 다양한 서비스를 제공하기 위해 제안된 항공이동통신 기술 현황에 대하여 자료를 조사하고 ATN망에서 공지간 이동통신 서브네트워크로써 가장 중요한 위치를 차지할 VDL Mode 항공데이터링크를 설계하고 구현하였다. 설계된 VDL M2 데이터링크는 OSI 7계층을 기준으로 물리계층, 데이터링크 계층 및 서브네트워크계층까지를 포함하며 링크를 구성하는 장비는 탑재통신장비와 지상통신장비로 구성된다. 탑재 통신장비는 통신관리기(CMU : Communication Management Unit)와 VHF 송수신기(VDR : VHF Data Radio)로

이루어지며, 지상통신장비는 데이터링크서비스처리기(DSP : Datalink Service Processor)와 지상국(GS : Ground Station)으로 이루어진다. 그리고, VDL은 네트워크 중심 통신시스템으로 기능시험을 위해서는 통신망이 요구되며, 본 연구에서는 AOA(ACARS over AVLC)망을 DSP와 CMU에 구현하였다. 또한 VDL M2 운용성 평가를 위해 운용시험장비를 개발하였으며, 여기에는 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications), ADS-C(Automatic Dependent Surveillance -Contract) 기능을 구현하였다. 개발된 VDL M2 통신시스템은 구성품, 인터페이스, 프로토콜분석, 환경시험. 1, 2단계 지상시험, 비행시험, 공항시설 및 민항기 연동시험을 통해 국제 기술 표준/규격을 만족하고 있음을 입증하였다. 그리고 비행시험을 통해서는 실 비행환경에서의 통신성능을 확인하였으며 약 310Km까지 안정적인 통신이 가능함을 확인하였다.

본 과제는 항공 데이터링크 통신시스템을 국내 최초로 개발함으로 인해 국내 연구 인프라 부족에 의해 연구초기 많은 시행착오를 겪었으나 철저한 연구목표 관리와 체계적인 연구수행을 통해 성공적인 연구 수행을 추진할 수 있었다. 그리고 비행시험, 공항시설 및 민항기 연동시험을 통해 개발장비의 성능 우수성과 환벽한 호환성을 입증하였다. 이번 개발 성공으로 우리나라 영공을 비행하는 항공기에 독자적인 정보를 제공할 수 있는 항공통신 핵심기술과 CPDLC, ADS 등 항공교통 안전 및 항공기 운항관리에 필요한 다양한 응용 애플리케이션 개발 기술도 확보하였으며 이는 앞으로 항공교통의 안전성과 항공운항의 효율성을 크게 개선하여 관련비용을 절감하는 계기가 될 것으로 판단된다. 그리고 개발된 데이터통신장비는 국내 지상인프라 구축을 통해 국내 항공이동통신 서비스를 독자적으로 수행함으로 그 동안 해외 통신사업자에게 지불되던 통신비용의 유출을 방지하고, 향후 항공안전 및 운항효율화를 위한 새로운 서비스를 독자적으로 구축할 수 있는 기반을 만들 것이다.

1. 항공통신 및 운용체계 기술개발 기반기술로 활용

앞에서 설명한 바와 같이 본 과제를 수행하면서 항공통신 시스템에 대한 국내 기반기술이 확보되어 있지 않아 많은 시행착오를 경험하였다. 그리고 항공통신시

스템에 대한 국내 인프라는 해외 업체에서 구축하여 서비스를 제공하고 있어 본 과제를 수행하면서 관련 인프라를 활용할 수 없어 많은 어려움을 겪었다. 또한 본 과제가 민간항공 데이터통신 분야에서 국내 최초로 수행되는 과제로 인해 연구 환경 및 인프라가 거의 전무한 상태에서 연구 수행하였다. 이러한 환경하에서도 VDL Mode 2 데이터링크를 개발하여 연구개발 목표를 충족시켰으며 이를 통해 축적된 많은 경험과 기술은 항공통신 인프라 기술개발 및 운용체계 기술개발에 큰 도움을 줄 것으로 판단된다. 특히 VDL M2데이터링크 개발관련 핵심기술은 차세대 항공통신 인프라 기술개발 과제에 기반기술로 활용할 수 있어 해당과제의 연구수행 업무 효율와 비용 절감을 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 본 과제를 통해 확보된 기술과 이에 대한 활용 방안을 종합하면 <표 5-2-1>과 같다.

<표 5-2-1> 획득기술 활용방안

핵심기술 분야	확보기술	활용 계획
VDL M2 체계종합	• 항공통신 시스템의 구조 • VDL M2 데이터링크 시스템 아키텍처 설계 • AOA or ATN망 인터페이스 • 시스템 성능분석	• 항공통신 시스템 인프라 구축 기반기술 • 차세대 항공통신 인프라 기술개발 시스템 아키텍처 설계 기반 기술 • 군용기 데이터링크와 통합운용을 기반 기술
탑재 VDR/CMU	• VDL M2데이터링크 구성품 설계기술 • 하드웨어 제작/시험평가 • SDR 설계 기술	• 항공기 개발시 통신장비계통 및 항공전자 장비 시스템 구조설계 및 인터페이스 설계를 위한 기반 기술
지상 GS/DSP	• VDL M2데이터링크 지상국 설계기술 • 항공통신 지상 중앙처리장치 설계기술	• 국내 DSP설립시 중앙처리장치구축을 위한 기반기술 • 차세대 항공통신 인프라 기술개발의 지상통신시스템 DSP설계 기반기술
운용시험장비	• 탑재/지상 운용시험장비 설계/제작/시험 기술 • CPDLC, ADS-C 응용 컨텐츠 구현 기술	• 국내 CPDLC, ADS-C 응용서비스 구축시 기반기술용 • 차세대 항공통신 운용체계 기술개발의 응용컨텐츠의 기반기술
시험평가	• 지상 및 비행 시험기법 • 공항시설 및 민항기 연동시험 기법 • 환경시험 적용 규격 및 방법	• 차기 R&D과제 수행시 시험평가기술로 활용 • 국내 항공통신 인프라 구축시 시험평가 기술로 활용

2. 지상국 실용화

본 과제를 통해서 VDL M2 데이터링크와 관련하여 탑재장비와 지상장비를 모두 개발하였다. 탑재 통신장비는 통신관리기(CMU : Communication Management Unit)와 VHF 송수신기(VDR : VHF Data Radio)로 이루어지며, 지상통신장비는 데이터링크서비스처리기(DSP : Datalink Service Processor)와 지상국(GS : Ground Station)으로 이루어진다. 그리고, VDL은 네트워크 중심 통신시스템으로 기능시험을 위해서는 통신망이 요구되며, 본 연구에서는 AOA(ACARS over AVLC)망을 DSP와 CMU에 구현하였다. 또한 VDL M2 운용성 평가를 위해 운용시험장비를 개발하였으며, 여기에는 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communications), ADS-C(Automatic Dependent Surveillance -Contract) 기능을 구현하였다.

항공데이터링크를 탑재장비와 지상장비로 구성되며 이들 중에 항공기 탑재장비의 경우, 민항기에 적용하기 위해서는 미국 FAA의 인증을 획득해야 완제기에 적용할 수 있다. 그렇지만 인증을 득한다 하더라도 국내에서 민항기와 관련한 완제기 제조 산업이 전혀 없으므로 국내에서는 전형 항공기 탑재장비 시장이 없다. 탑재장비 상업화를 위해서는 해외 항공기 제작사로 수출하여 하는데 실제로 국내 제작사가 장비를 개발하였다고 하더라도 국내 항공기에 적용실적이 없으면 해외 완제기 제작사에서 채택하지 국내 제품을 책택하지 않으므로 현재 상태에서는 탑재장비 실용화 및 상업화는 어려운 상황이라고 판단된다. 따라서 항공기 탑재장비는 국내 민항기의 제조 산업이 없으면 제품화가 매우 어려운 실정이라고 볼수 있다. 본 과제에서 탑재장비를 개발한 것은 연구시제를 제작한 것은 지상통신 장비 시험을 위해서 수행하였지만, 향후 국내 항공기 제작산업이 태동한다면 본 과제에서 개발한 탑재장비 기술과 장비가 활용될 수 있을 것으로 보인다.

지상장비의 경우, 국제 인증이 요구되지 않으므로, 본 과제로 개발된 지상국(GS)은 제품화를 거친 후 국내 공항시설 구축시 적용이 기대되고, 이를 통한 항공통신 국내 산업 태동의 기회가 될 것으로 판단된다. VDL M2 지상시스템(GS : Ground Station)은 참여기업에서 상업화 추진할 계획이며, 국내 항공통신 인르파 구축시 국내 16개 공항과 주요 항공로에 설치를 유도하여 국내 내수기반을 확보하

고 이를 바탕으로 해외시장 진출을 도모할 계획이다.

개발된 DSP의 경우, 국내 항공통신 서비스 사업자 설립이 우선되어야 하며, 차세대항행시설(CNS/ATM)의 중요성이 대두되고 있음으로 향후에 국내 항공통신서비스 사업자가 설립되면 본 과제에서 개발된 DSP 기술을 데이터링크 중앙처리장치로 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다. 그 외 운용시험장비에 구현 ATS서비스 기능은 항공데이터링크를 이용한 항공안전 서비스로 국가에서 구현해야할 기능임으로 국내 항공통신서비스 구축시 본 과제를 통해 확보한 핵심기술 적용될 것이다.

3. 획득기술 활용 추진 전략

이번에 개발된 VDL Mode-2 핵심기술은 항공기 운항지원을 위한 한국공항공사와 인천국제공항공사의 사전출발허가장치(PDC), 자동공항정보방송장치(ATIS), 민간항공사 운항관리 등의 서비스 제공에 활용할 수 있으며, 관제사와 조종사간에 음성 대신에 문자(그림 등)로 교신할 수 있도록 함으로서 음성에 의한 의사소통 오류와 항공교통 증가에 따른 주파수 자원 부족을 해결할 수 있는 향후 핵심적인 기능이 될 것이다. 이를 위하여 후속조치로 국내 공역의 항공이동통신서비스 제공방안 연구와 함께 항공이동통신 지상기지국 설치를 지속적으로 추진하고, 무선 데이터링크를 이용하는 항공이동통신서비스 인프라 구축을 추진할 필요가 있다. 만약 이러한 업무가 순조롭게 진행될 경우 전 세계 단일 통합형 항공통신망(ATN)과 연계되어 우리나라 공역을 비행하는 항공기의 비행안전에 필요한 각종 운용 컨텐츠 서비스를 독자적으로 제공할 수 있어 항공선진국으로써의 항공통신기술 강국이 될 것이다. 또한 이번에 개발된 무선 데이터링크 핵심기술을 기반으로 항공기 감시 데이터링크와 항공기간 항공데이터통신 인프라기술 개발에도 적극적으로 나설 필요가 있다. 항공통신은 공익 차원에서 필요한 장비이므로 본 과제에서 개발된 장비의 실용화와 기술개발을 위해서 아래와 같은 기본적인 전략이 필요하다고 판단된다.

○ 항공통신은 안전한 항공교통물류를 인프라성 기술로 공공성의 성격을 가

지므로 초기 사업화를 위해서는 국가가 주도하는 공익적인 차원의 수요창출이 요구됨

○ 국가 주도의 국내 수용를 바탕으로 항공통신 산업의 기틀을 마련하여 국제 시장진출

○ 특히, 국내 전자/IT 기술과 관련 인프라를 적극적으로 활용하여 연구개발 투자비용절감과 조기에 고부가 가치의 항공전자의 국내 개발과 상업화 유도

○ 또한 항공통신의 항공기 탑재장비 기술을 국내 완제기에 적용함으로 국내 완제기 성능향상으로 항공 산업의 활성화도 꽤함.

<표 5-2-2> 항공통신 인프라 및 운용체계 기술개발 활용 추진 전략

연도	활용계획
사후 1년(2010)	• 획득된 VDL핵심기술 및 VDL M2 설계 기술을 “차세대 항공통신 인프라 기술개발” 기획연구에서 활용하여 비용, 일정 및 개발목표 등 설정시 활용
사후 2년(2011)	• “차세대 항공통신 인프라 기술개발” 본 과제 수행시에 획득된 VDL핵심기술 및 VDL M2 설계 기술을 기반으로 항공통신 인프라 개념설계에 활용
사후 3년(2012)	• “차세대 항공통신 인프라 기술개발” 본 과제 수행시에 획득된 VDL핵심기술 및 VDL M2 설계 기술을 기반으로 기본설계 및 상세설계를 추진도록 함.
사후 4년(2013)	• “차세대 항공통신 인프라 기술개발” 본 과제 수행시에 제작된 VDL M2 통신장비 연구시제품을 Test-Bed로 활용하여 연동시험을 수행함. • “차세대 항공통신 운용체계기술 개발” 과제 수행시에 안공안전과 관련된 애플레이케이션 개발에 필요한 기반기술로 활용함.
사후 5년(2014)	• “차세대 항공통신 인프라 기술개발” 본 과제 수행시에 제작된 VDL M2 통신장비 연구시제품을 활용하여 통합시험을 수행함 • “차세대 항공통신 운용체계기술 개발” 과제 통신장비를 Test-Bed로 활용함.

<표 5-2-3> 지상국 실용화 추진전략

연도	활용계획
사후 1년(2010)	• 개발된 지상국(GS)을 상업화 추진을 위한 사용자 인터페이스 추가 및 성능개선 - 지상국 송수신기 방열팬 보강 - 지상국 무게/크기 축소
사후 2년(2011)	• 개발된 지상국(GS)을 상업화 추진을 위한 상업화용 시제제작 - ACARS외 통신기능 추가
사후 3년(2012)	• 개발된 지상국(GS)을 상업화 추진을 위한 상업화용 시제품 시험평가
사후 4년(2013)	• 개발된 지상국(GS)을 상업화용 제품 출시 및 전시회 참가
사후 5년(2014)	• 국내 항공통신인프라 구축시 VDL M2지상국으로 활용

<표 5-2-4> 기타 분야 활용 추진전략

연도	활용계획
사후 2년(2011)	• 민간/상업용 무인기 적용을 위한 UHF/VHF 주파수 대역의 협대역 고용량 모뎀개발로 기술 파급
사후 3년(2012)	• 민간/상업용 무인기 적용을 위한 UHF/VHF 주파수 대역의 협대역 고용량 모뎀 시험평가 - 다중 무인기 통제 기술 시현 • VDL M2를 군용 무인기 데이터링크 개발기술로 응용
사후 4년(2013)	• 민간/상업용 무인기 적용을 위한 UHF/VHF 주파수 대역의 협대역 고용량 모뎀 출시 • VDL M2를 군용 무인기 개발기술로 응용
사후 5년(2014)	• VDL M2를 군용 무인기 개발기술로 응용

지상국을 실용화하기 위해서는 VDL M2 차세대 통신기술뿐 만 아니라 기존에 사용되고 있는 고전적인 기술인 ACARS 통신기능이 추가되어야 할 필요성이 있다. 또한, 현재 지상국의 송수신기와 DLS/DLE가 구성품 단위로 분리되어 있는데 이는 실용화시 하나의 LRU(Line Replaceable Unit)로 통합하기 위한 무게/크기 축소도

필요하가고 판단된다.

그리고, 본 과제에서 개발된 기술을 무인항공기의 데이터링크로 활용한다면 다중 무인기 통제가 가능함으로 운용 효용성을 극대화 시킬 수 있을 것으로 판단되어 향후 지속적으로 활용을 추진할 계획이며 구체적인 활용은 아래와 같다.

- ○ 국내 민간/상업용 무인기 시장은 농업용 헬기 등을 중심으로 확대되고 있는 추세로 본 기술을 무인비행체와 지상국 간 혹은 무인기 간 통신에 적용 가능.
- ○ 특히 무인기의 최신 연구동향인 Multi-Control(1개의 지상통제국으로 여러대의 무인기 제어)의 인프라 기술로서 활용가치 높음
- ○ 본 데이터 링크의 비화기능을 포함하고 있으므로 사단/군단급 무인기 등 군용 분야에 적용가능성 타진 예정
- ○ 국내 무인항공기 전문업체와 협력하여 무인기 기술로 전파 및 적용 예정

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 호주 ADS(Aviation Data System)사 기술 협력

1. 호주 ADS(Aviation Data System)사 개요

호주의 ADS사는 민간항공기 항공전자의 응용분야 소프트웨어와 전자제품을 제작하는 17년간의 역사를 가진 항공 전문 회사로, 호주 멜버른의 La Trobe's University 의 Research and Development park 에 위치한 항공통신 기술력을 가진 벤처회사이다. 초기의 기술은 ACARS 장비에 초점을 두었고, VDL Mode 2와 GBAS/GNSS 분야까지 기술영역을 넓히고 있다. 사용자의 요구에 따라서, 지상관제소와 항공기 사이에 데이터 링크 동작을 보여줄 수 있는 데이터 링크 시스템을 개발하고 있다. 사용자나 개발자가 쉽게 사용이 가능하도록 PC 형태의 하드웨어와 소프트웨어 플랫폼을 제공한다. 호주 ADS사에서 제공하는 제품군에 대해 요약하면 다음과 같다.

가. ACARS 장비

ADS사는 PC 형태의 ACARS 장비를 제작하고 있다. 2가지 형태의 PC ACARS 가 있다.

- ○ PC와 연결이 가능한 외장형 장비
- ○ 19 랙과 연동되는 고출력 ACARS 장비



<그림 6-1-1-1> MVDL 외장형 시스템과 ACARS 이동형 장비

<그림 6-1-1-1>은 ADS에서 제작하는 외장형와 이동형 ACARS 장비를 보여주고 있다.

나. VDL Mode 2 장비

ADS사의 Mini VDR(VHF Data Radio)은 ICAO VDL SARPs 와 ARINC Characteristic 750 signal-to-space 요구조건들을 만족하도록 제작되었다. Mini VDR은 VDL mode 2 시험을 수행되도록 소프트웨어적 기능을 갖추고 있다. 또한, 항공기나 지상관제소에서 이동이 쉽도록 portable 형 PVDL 제품도 갖추고 있다.



<그림 6-1-1-2> Mini VDR

다. GBAS/LAAS 데이터 링크 장비

이동통신 기지국에 근거한 AirServices Australia(AA) 시스템과 항공기에 GRAS(Ground based Regional Augmentation System) 제공하기 위한 지대공 VHF 데이터 링크 시스템을 성능발전에 경험을 가지고 있다. 현재는 GBAS 관련 표준화 작업이나 발전방향에 커다란 관심을 갖고 있다.

2. 호주 ADS사와의 기술 자문 협력

가. 기술자문 및 토의

2007년 4월 출장에서 협의되었던 기술이전 및 협력에 관한 협의 내용을 바탕으로, 수정된 예산범위와 기간에서의 기술자문 방안에 대해 구체적인 토의가 있었다.

현재 ADS사는 VDL M2 시험장비 개발을 통해 VDL M2 개발에 대한 기술적인 노하우를 완전히 축적해둔 상태이며, VDL M2 국제 표준기구인 ICAO의 인증을 받은 기관으로 ARINC사 및 SITA와 의견을 공유하는 수준에 있는 기업이다. 또한, VDL M2 장비 개발이 아니라, M2에 대한 감시, 시험을 위한 장비를 개발하고 있기 때문에 타 연구기관의 기술개발을 적극 지원하는 태도를 보였다.

기 계획되었던 기술자문은 PDR, CDR에 대한 검토 등의 문서 검토와 시험 절차서의 작성에 초점을 맞추었는데 반하여, 3차년도 기술자문 계약시점 지연에 따라 실제 구현에 필요한 설계 및 구현을 위한 기술자료 습득에 초점을 맞추었다. 협의된 호주 ADS사와의 기술자문의 주요 내용은 다음과 같다.

나. 순서도 검토 및 상태 천이도(천이표) 검토

항우연에서 작성하는 순서도와 상태 천이도(천이표)에 대한 검토를 요청하였다. 순서도는 MAC의 p-persistance CSMA, DLS 알고리즘, LME 알고리즘에 대해 검토를 받고, 물리계층과 서브네트워크 이상의 계층에 대해서는 생략하였다.

현재까지 작성된 순서도를 담당 엔지니어에게 간략히 설명하고, 해당 순서도의 검토가 가능한지를 물어보았고, ADS사에서 엔지니어 파견, 화상 회의, e-mail 등 상호 연락을 통해 충분히 검토가 가능하다는 의견을 받았다. 또한 당초 예상하였던 상태 천이표 획득은 ADS사에서 항우연 설계보다 간단한 상태 천이표(ARINC 631 기준을 그대로 적용)을 사용하는 것으로 파악되어, 항우연에서 ICAO Technical Doc 9776을 준하여 천이표를 작성하고 이에 대한 검토를 받는것이 유리할 것으로 판단하여 이를 제안하였다. ADS사에서는 이에 대해 충분히 검토가 가능하다고 밝혔다.

(1) 지상 시스템에 초점을 맞춘 개발

ADS사의 감시시험 소프트웨어에서도 알 수 있듯이, VDL M2 장비는 항공기와 지상이 동일한 기능을 수행하는 것처럼 보이지만, 구조상에서 다른 점을 많이 가지고 있기 때문에 항공기와 지상국 모두에 대한 자문을 받으면 업무가 과다해지는 문제가 있다. 따라서, ADS사에서는 항공기와 지상국 중 어느 장비에 초점을 맞출 것인지를 결정하는 것이 중요하다고 하였으며, 항우연은 3차년도 개발 목표에서 정의한 것처럼 지상국 장비 상용화에 초점을 맞추고 있기 때문에 기술 자문을 지상

국을 기준으로 하기로 하였다.

(2) 성능 시연을 위한 소프트웨어 개발 : CPDLC와 AOA

본 과제의 성능을 시연하기 위한 응용 소프트웨어로 CPDLC 구현을 목표로 하고 있다. 응용프로그램인 CPDLC는 협동연구기관인 리얼타임 웨이브에서 담당하고 있지만, 응용 소프트웨어에 대한 인터페이스는 VDL M2 장비에 포함되어야 한다. CPDLC는 그 특성상 ISO 8208 부 계층과 호환이 되도록 하는 것이 일반적이다. ISO 8208 기본으로 CPDLC를 구성하게 되면 차세대 항공통신망으로 제안된 ATN 라우터를 거치지 않을 수 없다. ATN 라우터 개발은 VDL M2 시스템 개발만큼이나 복잡하고 많은 연구가 필요한 부분이므로 ATN 라우터를 개발하는 것은 불가능하다. ISO 8208 기반으로 CPDLC를 구성하게 되면 ATN 라우터가 필수적이므로, ADS에서 판매하는 ATN 스택 소프트웨어를 구매하는 방법이 제안될 수 있다.

CPDLC를 구현하는 또 하나의 방법은 AOA 기반으로 구현하는 것인데, 이 경우에는 CPDLC 응용 소프트웨어와 AOA간 인터페이스를 위한 별도의 소프트웨어가 개발되어야 한다. AOA 인터페이스에는 ARINC 622, ARINC 620 인터페이스가 추가되어야 한다. ADS사에서는 8208 기반보다는 AOA 기반의 CPDLC 구현을 추천하였는데, 이는 ARINC 622, 620 구현이 ATN Stack 구현보다는 매우 간단할 뿐 아니라 AOA 기반으로 구성하게 되면 ACARS 활용도 가능하기 때문이다. 또한, 향후 데이터 통신망으로 제안된 ATN의 장래성이 불확실한 상황에서 현재 SITA 등에서는 데이터 통신 망으로 ATN 망을 새롭게 구축하기보다는 기존의 TCP/IP망을 이용하는 것이 데이터 전송 속도와 경제성에서 훨씬 효과적이라는 의견을 제시하고 있기 때문에, VDL M2 표준에서도 TCP/IP 망의 이용을 고려하고 있기 때문이다.

본 항목에 대해서는 AOA 기반의 CPDLC 구현을 검토하되, 향후 개최될 PDR에서 집중적으로 토의를 거쳐 결정하기로 하였으며, ADS사에서는 8208 및 AOA에 대해 모두 기술적인 지원이 가능하다는 의견을 얻었다.

다. 기술자문 계약

협의된 내용을 바탕으로 2007년 말부터 약 6개월에 걸쳐 2007년 말부터 약 6개

월에 걸쳐 소프트웨어 설계, 구현, 시험평가 방안 등에 대한 기술 자문 계약을 맺었다. 항우연에서 설계한 소프트웨어 설계 문서인 순서도와 상태 천이표에 대한 검토를 의뢰하였으며, 설계와 구현에 있어서 궁금한 사항과 기술적인 지원이 필요한 부분에 대해 지원을 받았다. 기술 지원 방법은 다음과 같이 네 가지 방법으로 요약될 수 있다.

- 항우연 작성 상세설계 문서에 대한 기술검토 의뢰
- 항우연 발의 질의에 대한 기술 답변 및 지원
- ADS사 엔지니어의 한국 방문을 통한 집중 회의
- 항우연 엔지니어의 ADS사 방문을 통한 구현 및 시험평가 회의

이에 대해 ADS사와 계약된 기술지원의 범위와 일정은 <그림 6-1-2-1>에서 <그림 6-1-2-3>와 같다.

SCHEDULE 1 **Description of Consulting Services**

PART 1. KARI Project Description

KARI is developing a ground station system to support the demonstration and testing of CPDLC application services.

The structure of the proposed system is generally in accordance with the following diagram:

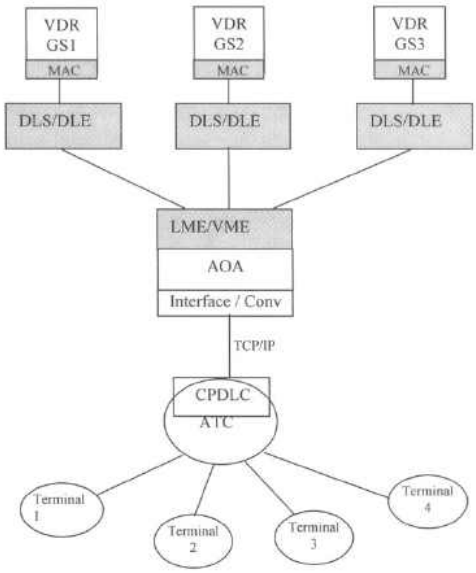


Fig 1. VDL Mode 2 / AOA Ground System Structure

The design and implementation of the system is being managed and performed by the KARI team. ADS offers its consulting services in the review of MAC, VME/LME and DLS/DLE software modules with reference to the requirements of the ICAO VDL SARPS and AEEC A631 where applicable.

<그림 6-1-2-1> 기술자문 계약 내용 (1/3)

SCHEDULE 1 **Description of Consulting Services**

PART 2. Description of Service

2.1 Scope

The service will consist of :

a. technical review of
   i. project flow charts
   ii. project state diagrams
   developed by the KARI team for the VDL Mode 2 ground station AVLC stack which will include
   - MAC/CSMA
   - DLS/DLE
   - LME/VME
   - Interfaces such as the interface between the VDR and the DLS as required

b. general consulting in regard to the specifications and requirements demanded by the ICAO VDL SARPS and AEEC A631.

The 8208 sub network layer will not be incorporated in the KARI design.

2.2 Process

The review and consulting process will fall into two categories:

a. Review of formal design documents
b. Advice, discussion and dialog on specific questions raised by KARI (Ad Hoc Topics)

a. Formal Document Review

A formal document presented by KARI for review by ADS shall be clearly identified in a manner similar to that shown below:

Document Prepared by: (..name....), KARI
Document Checked by: (..name....), KARI

After review , the document will be returned to KARI with the added record –

Document Reviewed by: (..name....), ADS

The document may then continue through the KARI system – perhaps as follows –

Final Review by: (..name....), KARI
Approved by: (..name....), KARI

It is proposed that comments, amendments or questions introduced by ADS during Formal Document Reviews are numbered according to the KARI document and paragraph number to which they refer. It is suggested that date be used to track the comment history.

b. Ad Hoc Topics

To maintain control and visibility over questions raised by KARI and general discussions, it is proposed that each question be identified by a unique number (eg. KR 1, KR 2 etc - where KR = KARI Request) and that email date be used to track request history.

<그림 6-1-2-2> 기술자문 계약 내용 (2/3)

SCHEDULE 1 **Description of Consulting Services**

2.3 General

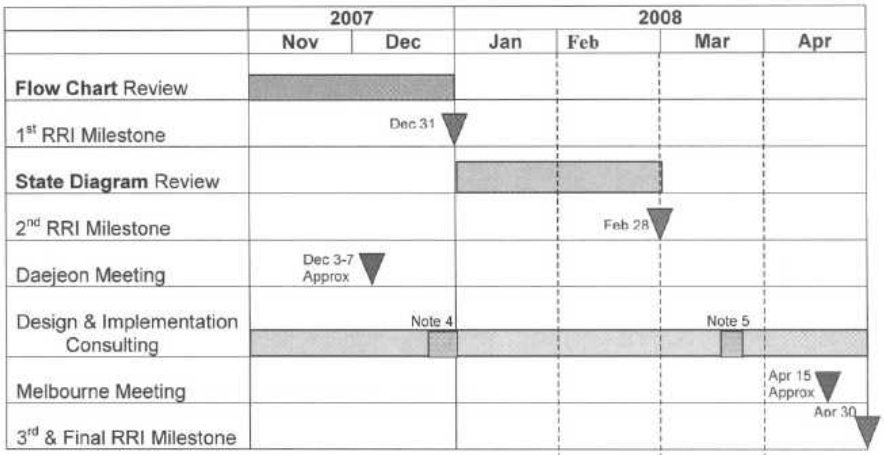
A face-to-face meeting in Korea in the early stages of this engagement which brings together the technical representatives of ADS, KARI and Pine Telecom is recommended to enable a review of the effectiveness of the process to date and to support the rapid exchange of ideas and general team discussions.

ADS will use the experience it has gained through several implementations of the AVLC stack – designed to run on different operating systems - to assess the KARI system design proposals. The assessment will be in terms of

(a) reasonableness
(b) completeness
(c) compliance with technical requirements

Throughout the process, ADS will respond to KARI questions in regard to system specification and implementation issues.

2.4 Schedule and Milestone Chart:



Notes:
1. **RRI**: Review Report and Invoice
2. Milestone and meeting dates may be flexible if agreed by both parties.
3. Christmas / New Year Holiday period
4. Easter Holiday period
5. It is accepted by both parties that strict adherence to the milestone chart above may be dependent on the completion of related tasks and the availability of certain documentation and therefore some flexibility in completion of some tasks may be beneficial to the optimal management of the project.

Fig 2. Milestone Chart

<그림 6-1-2-3> 기술자문 계약 내용 (3/3)

라. 기술자문 수행 결과

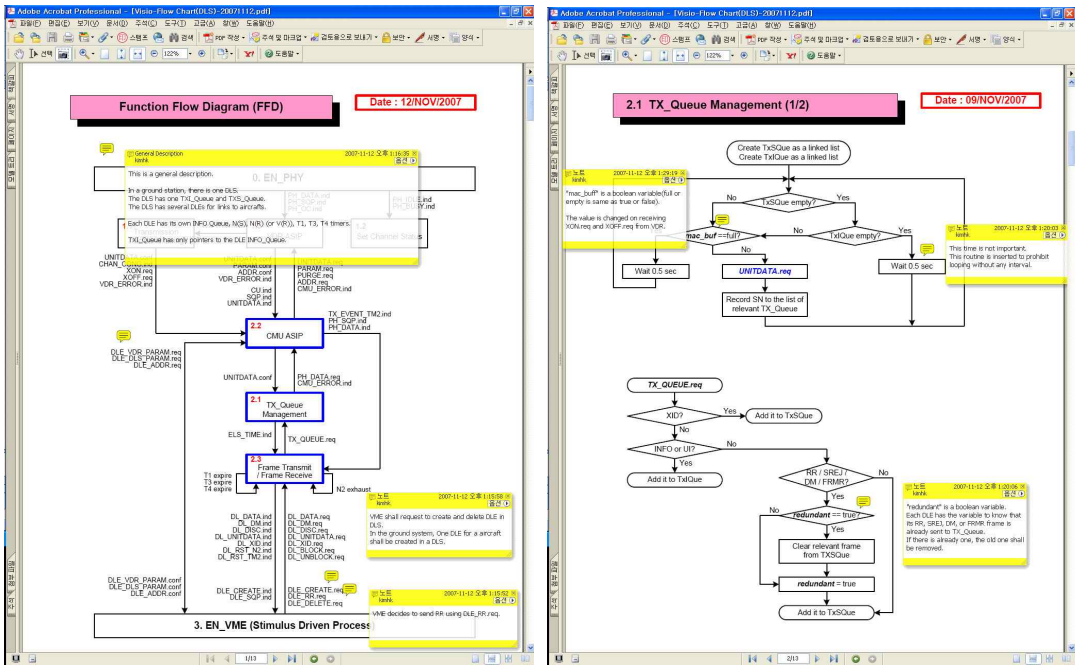
(1) 항우연 작성 상세설계 문서에 대한 기술검토

항우연 작성 상세설계 문서는 DLS의 순서도와 상태 천이표, VME의 상태 천이표가 있다. VME 상세 설계 문서에 VME 순서도가 포함되지만, VME의 경우 event-driven 방식이므로 상태 천이표에 의해 순서도가 확정될 수 있어서 이번 검토에서는 제외되었다.

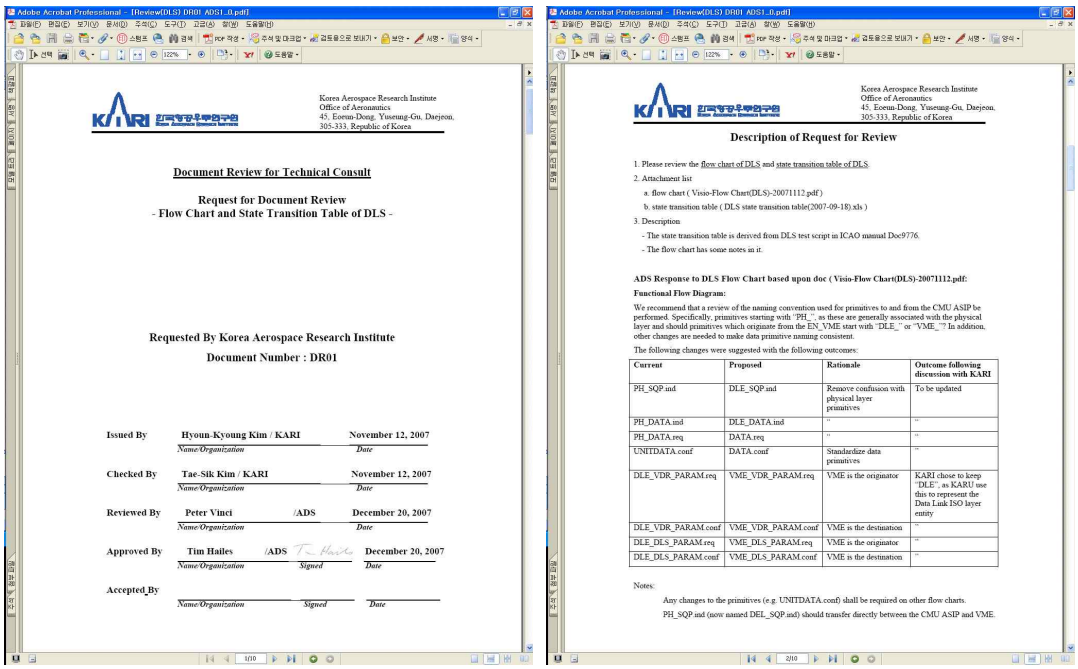
상세설계 문서 검토 요청에 대해 다음과 같이 검토 결과서를 받았으며, 이에 대한 상세한 설명은 ADS사 엔지니어의 한국 방문을 통한 집중 회의에서 다루어졌으며, 회의를 통해 항우연에서 개발하고 있는 방향에 대해 ADS사에 상세히 전달하고, 그에 따라 수정방안이 제시되었다.

(가) DLS 순서도 및 상태 천이표 검토

소프트웨어 상세설계 결과물 중의 하나인 DLS 순서도와 상태천이표 자료를 <그림 6-1-2-6>과 같이 PDF 파일로 변환하고, 이해가 가능하도록 여러 주석과 메모를 달아서 ADS사에 전달하였으며, 검토결과는 <그림 6-1-2-7>에 보였다.



<그림 6-1-2-4> ADS에 검토 의뢰한 DLS 순서도 (샘플)



Korea Aerospace Research Institute
Office of Aeronautics
45, Eoeun-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon,
305-333, Republic of Korea

Document Review for Technical Consult

Request for Document Review
- Flow Chart and State Transition Table of DLS -

Requested By Korea Aerospace Research Institute
Document Number : DR01

Issued By	Hyoun-Kyoung Kim / KARI		November 12, 2007
	Name/Organization		*Date*
Checked By	Tae-Sik Kim / KARI		November 12, 2007
	Name/Organization		*Date*
Reviewed By	Peter Vinci	/ADS	December 20, 2007
	Name/Organization		*Date*
Approved By	Tim Halles	/ADS	December 20, 2007
	Name/Organization	*Signed*	*Date*
Accepted By			
	Name/Organization	*Signed*	*Date*

Korea Aerospace Research Institute
Office of Aeronautics
45, Eoeun-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon,
305-333, Republic of Korea

Description of Request for Review

1. Please review the flow chart of DLS and state transition table of DLS.
2. Attachment list
   a. flow chart (Visio-Flow Chart(DLS)-20071112.pdf)
   b. state transition table (DLS state transition table(2007-09-18).xls)
3. Description
   - The state transition table is derived from DLS test script in ICAO manual Doc9776.
   - The flow chart has some notes in it.

ADS Response to DLS Flow Chart based upon doc (Visio-Flow Chart(DLS)-20071112.pdf:

Functional Flow Diagram:

We recommend that a review of the naming convention used for primitives to and from the CMU ASIP be performed. Specifically, primitives starting with "PH_", as these are generally associated with the physical layer and should primitives which originate from the EN_VME start with "DLE_" or "VME_"? In addition, other changes are needed to make data primitive naming consistent.

The following changes were suggested with the following outcomes:

Current	Proposed	Rationale	Outcome following discussion with KARI
PH_SQP.ind	DLE_SQP.ind	Remove confusion with physical layer primitives	To be updated
PH_DATA.ind	DLE_DATA.ind	"	"
PH_DATA.req	DATA.req	"	"
UNITDATA.conf	DATA.conf	Standardize data primitives	"
DLE_VDR_PARAM.req	VME_VDR_PARAM.req	VME is the originator	KARI chose to keep "DLE", as KARU use this to represent the Data Link ISO layer entity
DLE_VDR_PARAM.conf	VME_VDR_PARAM.conf	VME is the destination	"
DLE_DLS_PARAM.req	VME_DLS_PARAM.req	VME is the originator	"
DLE_DLS_PARAM.conf	VME_DLS_PARAM.conf	VME is the destination	"

Notes:

Any changes to the primitives (e.g. UNITDATA.conf) shall be required on other flow charts.

PH_SQP.ind (now named DEL_SQP.ind) should transfer directly between the CMU ASIP and VME.

<그림 6-1-2-5> DLS 순서도에 대한 ADS 검토 의견 (샘플)

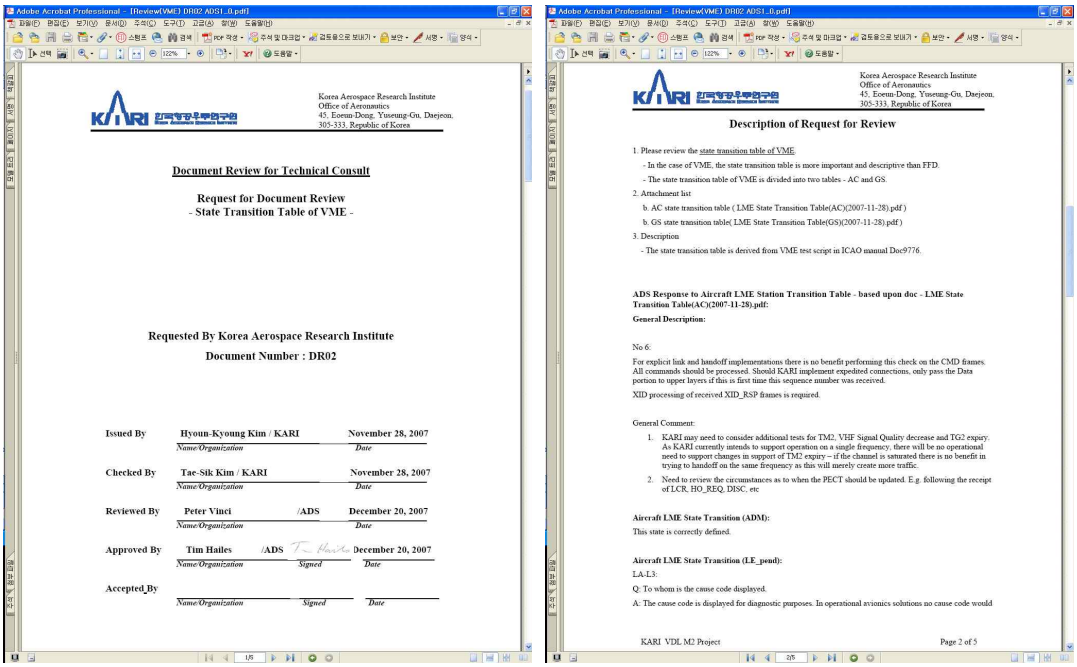
(나) VME 상태 천이표 검토

VME 구조는 탑재와 지상시스템이 상이하므로, 각각에 대해 검토를 요청하여 답변을 받았다. VME 상태 천이표 검토결과에 따라 VME 순서도를 업그레이드 하는 작업을 추후 완료하였다.

Aircraft LME State Transition (LE_pend)

NO	Stimulus	LE_pend (GS:p)	Description
LA-L1	INFO received	A = XID_CMD_LE(GS-p)(P=1)	For any GS(GS-p or GS-x), VME send XID_CMD_LE to the proposed ground station. Increment N2 is deleted. It is processed by DLS.
LA-L2	N2 exhausted	A = choose new GS-p, XID_CMD_LE(GS-p)(P=1)	If N2 is exhaused, VME shall choose a new GS and send XID_CMD_LE to the proposed ground station. Increment N2 is deleted. It is processed by DLS.
LA-L3	XID_RSP_LCR(GS-any[2])(F=1)	A = display the refusal cause code update PECT DLE_DELETE.req with GS-p S = ADM	The refusal cause code shall be displayed. Before transfer to ADM, the LME shall delete the relevant DLE.
LA-L4	illegal XID frame[1]	A = XID_CMD_LCR(P=0) - illegal DLE_DELETE.req with GS-p S = ADM	Before transfer to ADM, the LME shall delete the relevant DLE.
LA-L5	XID_RSP_LE(GS-any)(F=1) w/ parameter acceptable	A = if GS-any is GS-x DLE_CREATE.req with GS-x, DLE_DELETE.req with GS-p GS-c <= GS-any S = ABM_single	If GS-any is GS-x, then VME shall delete the old DLE and create new one to clear the link. But, if GS-any is GS-p, there is no need to create a DLE because the DLE is already created with XID_CMD_LE(P=1).
LA-L6	XID_RSP_LE(GS-any)(F=1) w/ parameter not acceptable	A = DLE_DELETE.req with GS-p, DL_DISC.req to GS-any S = ADM	Before transfer to ADM, the LME shall delete the relevant DLE.
LA-L7	XID_RSP_HO(GS-p)(F=1) parameter not acceptable	A = DL_DISC(GS-p)(P=0), DLE_DELETE.req with GS-p update PECT S = ADM	This is a kind of special cases. XID_RSP_LE(F=1) includes all parameters in XID_RSP_HO(F=1). So, if the parameters in XID_RSP_HO(F=1) are not acceptable, the aircraft LME shall abandon the link establish for GS-p.
LA-L8	DLE_SQP.ind	A = update PECT	PECT shall includes the ground station list.
LA-L9	VME instruct an LME to die	A = once RSP to CMD_LE is received - Send DISC(GS-p) S = ADM	

<그림 6-1-2-6> ADS 사에 검토 의뢰한 VME 상태 천이표 (샘플)



Korea Aerospace Research Institute
Office of Aeronautics
45, Eoeun-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon,
305-333, Republic of Korea

Document Review for Technical Consult

Request for Document Review
- State Transition Table of VME -

Requested By Korea Aerospace Research Institute
Document Number : DR02

Issued By	Hyoun-Kyoung Kim / KARI		November 28, 2007
	Name/Organization		*Date*
Checked By	Tae-Sik Kim / KARI		November 28, 2007
	Name/Organization		*Date*
Reviewed By	Peter Vinci	/ADS	December 20, 2007
	Name/Organization		*Date*
Approved By	Tim Haites	/ADS	December 20, 2007
	Name/Organization	*Signed*	*Date*
Accepted By			
	Name/Organization	*Signed*	*Date*

Korea Aerospace Research Institute
Office of Aeronautics
45, Eoeun-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon,
305-333, Republic of Korea

Description of Request for Review

1. Please review the state transition table of VME.
   - In the case of VME, the state transition table is more important and descriptive than FFD.
   - The state transition table of VME is divided into two tables - AC and GS.
2. Attachment list
   b. AC state transition table (LME State Transition Table(AC)(2007-11-28).pdf)
   b. GS state transition table(LME State Transition Table(GS)(2007-11-28).pdf)
3. Description
   - The state transition table is derived from VME test script in ICAO manual Doc9776.

ADS Response to Aircraft LME Station Transition Table - based upon doc - LME State Transition Table(AC)(2007-11-28).pdf:

General Description:

No 6:

For explicit link and handoff implementations there is no benefit performing this check on the CMD frames. All commands should be processed. Should KARI implement expedited connections, only pass the Data portion to upper layers if this is first time this sequence number was received.

XID processing of received XID_RSP frames is required.

General Comment:

1. KARI may need to consider additional tests for TM2, VHF Signal Quality decrease and TG2 expiry. As KARI currently intends to support operation on a single frequency, there will be no operational need to support changes in support of TM2 expiry – if the channel is saturated there is no benefit in trying to handoff on the same frequency as this will merely create more traffic.
2. Need to review the circumstances as to when the PECT should be updated. E.g. following the receipt of LCR, HO_REQ, DISC, etc

Aircraft LME State Transition (ADM):

This state is correctly defined.

Aircraft LME State Transition (LE_pend):

LA-L3:

Q: To whom is the cause code displayed.

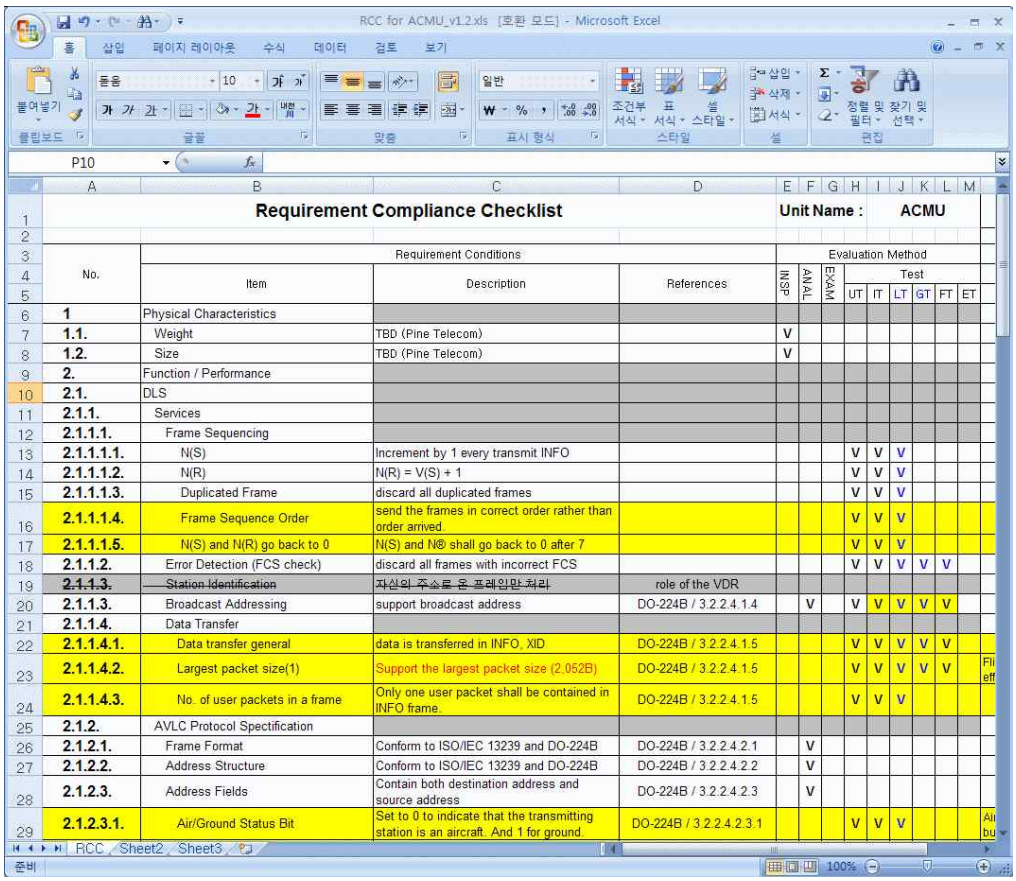
A: The cause code is displayed for diagnostic purposes. In operational avionics solutions no cause code would

KARI VDL M2 Project Page 2 of 5

<그림 6-1-2-7> VME 상태 천이표에 대한 ADS사 검토 의견 (샘플)

(다) RCC 검토 요청

탑재 CMU의 RCC를 작성하여 ADS 사에 검토 요청하였다. 지상과 탑재 장비에 있어서 소프트웨어적인 구조는 크게 다르지 않기 때문에, ADS사의 검토 의견을 반영하여 나머지 부분에 대해서도 작성을 완료하였고, 최종적으로 ADS사 방문 시에 RCC를 작성 완료하여 수정, 검토 과정을 거쳤다. <그림 6-1-2-10>은 탑재 CMU에 대한 항우연 엑셀파일에 ADS사가 직접 Comment를 추가하여 수정한 내용을 보였다.



Requirement Compliance Checklist — Unit Name : ACMU

No.	Item	Description	References	Evaluation Method: INSP	ANAL	EXAM	Test: UT	IT	LT	GT	FT	ET
1	Physical Characteristics											
1.1.	Weight	TBD (Pine Telecom)		V								
1.2.	Size	TBD (Pine Telecom)		V								
2.	Function / Performance											
2.1.	DLS											
2.1.1.	Services											
2.1.1.1.	Frame Sequencing											
2.1.1.1.1.	N(S)	Increment by 1 every transmit INFO					V	V	V			
2.1.1.1.2.	N(R)	N(R) = V(S) + 1					V	V	V			
2.1.1.1.3.	Duplicated Frame	discard all duplicated frames					V	V	V			
2.1.1.1.4.	Frame Sequence Order	send the frames in correct order rather than order arrived.					V	V	V			
2.1.1.1.5.	N(S) and N(R) go back to 0	N(S) and N® shall go back to 0 after 7					V	V	V			
2.1.1.2.	Error Detection (FCS check)	discard all frames with incorrect FCS					V	V	V	V	V	
~~2.1.1.3.~~	~~Station Identification~~	~~자신의 주소로 온 프레임만 처리~~	role of the VDR									
2.1.1.3.	Broadcast Addressing	support broadcast address	DO-224B / 3.2.2.4.1.4		V		V	V	V	V	V	
2.1.1.4.	Data Transfer											
2.1.1.4.1.	Data transfer general	data is transferred in INFO, XID	DO-224B / 3.2.2.4.1.5				V	V	V	V	V	
2.1.1.4.2.	Largest packet size(1)	Support the largest packet size (2,052B)	DO-224B / 3.2.2.4.1.5				V	V	V	V	V	
2.1.1.4.3.	No. of user packets in a frame	Only one user packet shall be contained in INFO frame.	DO-224B / 3.2.2.4.1.5				V	V	V			
2.1.2.	AVLC Protocol Spectification											
2.1.2.1.	Frame Format	Conform to ISO/IEC 13239 and DO-224B	DO-224B / 3.2.2.4.2.1		V							
2.1.2.2.	Address Structure	Conform to ISO/IEC 13239 and DO-224B	DO-224B / 3.2.2.4.2.2		V							
2.1.2.3.	Address Fields	Contain both destination address and source address	DO-224B / 3.2.2.4.2.3		V							
2.1.2.3.1.	Air/Ground Status Bit	Set to 0 to indicate that the transmitting station is an aircraft. And 1 for ground.	DO-224B / 3.2.2.4.2.3.1				V	V	V			

<그림 6-1-2-8> RCC 초안과 ADS사 검토 의견

(2) 항우연 발의 질의에 대한 기술 답변 및 지원

항우연에서는 소프트웨어와 하드웨어 설계 및 구현에 관해 다양한 질의를 하였으며, 특히 소프트웨어 구현 및 AOA 모듈 인터페이스 설계 및 제작에 대한 기기술 지원을 받았다. 이를 통해 구매한 AOA 모듈과 항우연 개발 DSP, CMU와의 인

터페이스를 성공리에 마쳤다. 항우연에서 발의하는 질의는 Questionnaire라는 이름으로 ADS사에 전달되었으며, 이에 ADS사에서는 응답을 하고, 추가적인 질문이 있을 경우 덧붙이는 방식으로 진행되었다. 항우연에서 최종적으로 해당 질문에 대해 완료되었다고 판단하면 Aceepted Report를 작성하여 ADS사에 송부하였다. 최종 수락된 질의 양식은 <그림 6-1-2-11>과 같으며, 각 질의와 ADS사의 응답에 대해서는 아래에 요약하여 기술하였다.

Office of Aeronautics
Korea Aerospace Research Institute
45, Eoeun-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon,
305-333, Republic of Korea

Ad Hoc Topics for Technical Consult

Questionnaire
for
AOA Interfaces

Requested By Korea Aerospace Research Institute

Document Number : KR01

Issued By	**Tae-Sik Kim / KARI**		**November 9, 2007**
	Name/Organization		*Date*
Checked By	**Tae-Sik Kim / KARI**		**November 9, 2007**
	Name/Organization		*Date*
Reviewed By	**Peter Vinci**	**/ADS**	**January 14, 2008**
	Name/Organization		*Date*
Approved By	**Tim Hailes**	**/ADS**	**January 14, 2008**
	Name/Organization	*Signed*	*Date*
Accepted By	**Tae-Sik Kim / KARI**		
	Name/Organization	*Signed*	*Date*

<그림 6-1-2-9> KARI ADS사간 질의 응답서 (표지)

Office of Aeronautics
Korea Aerospace Research Institute
45, Eoeun-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon,
305-333, Republic of Korea

Description of Questions

1. How can we interface between ADS AOA module and KARI VME stack in Aircraft Station?

In order to interface between the ADS AOA module and the KARI VME stack, you will need to implement various C functions of which the prototypes we will supply to you. We will also provide a structure containing a function pointer for each C function which you must assign to the functions that you write

We will also provide you with an ADS 'Air' library which will contain a function with a name similar to 'ADS_Air_Begin' which will accept the structure containing pointers to your functions that interact with you VME interface. At this point, the AOA object will begin interacting with your VME object.

Within this correspondence you will find attached the C header file declaring the function prototype you must implement (ADS_A618_VME_IFace.h), plus the documentation detailing the class's functions (ICD-07-023-02-00-R.doc).

<그림 6-1-2-11> KARI ADS사간 질의 응답서 (내용)

○ Questionnaire for AOA Interface

- ADS사에서 개발하여 구매 진행되고 있는 AOA 모듈에 대해, 항우연의 VME(지상의 경우 DSP, 항공기의 경우 ACMU) 구현에서의 인터페이스 처리 방법에 대해 문의하였다. ADS사에서는 AOA 구매시 AOA 라이브러리를 항공기와 지상국에 대해 각각 제공하고, 해당 라이브러리에서 구현한 함수를 사용하기 위한 함수 원형과 함께 설명자료를 제공키로 하였다. 계약후 라이브러리, 헤더파일, ICD 문서를 제공받았으며 함수 목록은 ADS_A618_VME_IFace.h 파일에 들어있으며, 상세한 내용은 ICD-07-023-02-00-R.doc라는 MS 워드 파일 형태로 제공받았다.
- ADS사의 AOA 모듈에서 항우연 사용자 인터페이스 모듈(지상과 항공)에 전달받아야 하는, 또는 전달하고자 하는 데이터의 종류에 대해 문의하였음. 이에 대해 ADS사는 운용시험장비와 AOA 모듈(AOA6222)간 통신을 위해 프리미티브에 대해 기술된 ICD 문서를 제공 받았다.
- 지상과 항공기 최단 사용자간 통신 과정에 있어서 AOA및 ARINC 620, ARINC 622에서 사용되는 주소 체계에 대해 문의하였고, 이 내용

은 문서(ICD-07-024-02-00-R.doc)에 기술되어 있다.

○ Questionnaires for DLS

- ARINC 750의 ASIP에서 정의된 VDR과 CMU간 프리미티브 중 "PURGE.req"의 사용 목적과 발생되는 시기에 대해 문의하였다. ADS사에서는 이 기능에 대해 일반적으로 사용되지 않는 기능이기는 하나 주파수가 변경되었다거나 TM2가 만료된 경우 버퍼에 있는 내용을 모두 비우기 위해 임의로 사용할 수 있다고 하였다.
- "VDR_ERROR.ind"과 "CMU_ERROR.ind" 프리미티브의 용도와 해당 프리미티브를 VDR과 CMU가 각각 수신하였을 때의 행동에 대해 문의하였다. ADS사에서는 이 기능에 대해서는 전적으로 항우연 VDR과 CMU 구현 단에서 결정할 수 있음을 명확히 하였다. 또한 이 프리미티브에 대해서는 요구사항이나 가이드라인이 없으며, 이 프리미티브를 받았을 때, 또는 발행할 때의 구현은 사용자에 따라 정해질 수 있으며 다양한 값을 파라미터로 전달하여 시스템을 진단하는데 활용할 수 있을 것이라고 하였다.
- SREJ(F=0) 프레임 수신시 해당되는 missed INFO 프레임을 보낼 때도 N2 카운터가 증가되는지 여부를 문의하였고, ADS사에서는 ICAO 매뉴얼에 따르면 SREJ 프레임에 대한 응답인지 여부와 관계없이 모든 INFO에 대해서는 N2 카운터가 증가되어야 한다고 설명하였다.

○ Questionnaires for VME(LME)

- 지상 LME가 XID_CMD_LPM을 보낼 수 있는 상태가 ABM_Single과 ABM_Mult 모두 가능한지 문의하였고, 이에 ADS 사에서는 DSP에 연결된 모든 Ground Station을 통해 XID_CMD_LPM이 전송될 수 있으므로 ABM_Single과 ABM_Mult 상태에 모두 전송가능하다고 답변하였다.
- DLE가 LME의 상태를 알아야 하는지, 알 수 있는 방법은 어떤 것이 있는지에 대해 문의하였고, ADS사에서는 DLE와 LME는 서로 독립적

이어야 하므로 서로간의 상태를 파악할 필요가 없다고 답변하였다.

- LME의 상태가 변경되면 어떤 처리가 되어야 하는가를 문의하였고, 이는 LME가 기존에 어떤 상태였는지, 소프트웨어가 어떤 구현구조를 갖는지에 따라 달라질 수 있다고 답변하였다. 이와 함께 LME의 각 상태 변화에 따른 예시를 통해 보편적인 시스템에서 어떻게 구현할 수 있는지에 대해 간략히 설명하였다.

○ Questionnaires for AOA Interface

- AOA 모듈에서 현재 포함하고 있는 A622 기능 중 CPDLC 구현 이외의 AFN 및 ADS-C 기능을 추가로 구현이 가능한지를 문의하였고, ADS 사에서는 충분히 가능하나 구현과 추가적인 인터페이스에 대한 시험을 위해 18시간의 기술자문 시간이 요구된다고 답하였다.

- AFN, CPDLC, ADS-C에 대한 인터페이스를 설명해줄 수 있는지에 대해 문의하였고, ADS사는 기존의 ICD에 AFN과 ADS-C 기능을 업데이트한 문서를 추가로 제공하였다.

- AOA 인터페이스 인터페이스에 대한 개발 환경과 요소를 일부 변경하였음을 통지하였다. 이는 항우연의 VME와 ADS사의 AOA 모듈간 인터페이스 오류를 예방하기 위한 것으로 gcc 4.0 컴파일러를 사용하기로 하는데 동의하였다. 또한 AOA 모듈과의 연결을 위해 select 기법을 적용하기로 하였고 ADS사는 이에 동의하였다.

- "select" 방법에 대한 구체적인 샘플 코드를 요청하였고, ADS사는 이에 CPDLC 인터페이스를 예제로 select 기법을 적용하는 것과 비동기 callback을 적용하는 방법에 대해 tar.gz 파일 형태로 압축하여 제공하였다.

○ Questionnaires for VME/LME

- Aircraft PECT와 Ground routing table의 구성 내용에 대해 문의하였고, 이에 대해 ADS사에서 사용하고 잇는 PECT 테이블을 제공하였고, Ground Station에 대해서는 Aircraft Table, Ground Station Table,

Ground PECT Table, Airline Table이 필요하다고 언급하였으며, Airline Table을 제외한 세 가지 Table에 대해 상세히 제공하였다.

○ Questionnaires for TM2

- 항공기 VDR에서 TM2가 만료되면 어떤 일이 발생되는지에 대해 문의하였다. TM2는 해당 주파수의 링크가 폭주되어 발생되는 메시지이므로, 단일 주파수를 사용하는 시스템에서는 TM2를 무시할 것을 권고하였고, 두 개 이상의 주파수를 사용하는 시스템에서는 링크 설립단계에서 지상국에서 제공하는 XID_RSP_LE 프레임의 정보에 Frequency Support List와 Replacement Ground Station List를 참고하여 항공기가 주파수가 다른 지상국으로 핸드오프를 시도하면 된다고 설명하였다.
- 지상에서는 어떤 일이 발생하는가에 대해서도 문의하였는데 지상국에서는 TM2가 만료되더라도 핸드오프를 시도하여서는 안된다고 하였다. 이는 주파수가 다른 지상국에서 핸드오프를 개시하더라도 현재 링크를 유지하는 항공국에서 해당 데이터를 수신할 수 없기 때문이다.

○ Questionnaires for VDR

- VDR의 수신단에서 저대역 통과 필터(LPF)의 적절한 대역폭은 얼마인지를 문의하였고, 이상적으로 LPF는 10.5K가 좋다고 답변하였다.
- 수신단에서 고유 워드 검출 후, 복조 지연 시간은 얼마가 적절한지를 문의하였고, ADS사에서는 적정 시간을 계산하기 위한 여러 가지 조건 파라미터를 제시하였으며 이에 따라 계산되어야 한다고 하였다. 또한, 전송하는 큐에 저장될 수 있는 최대 길이 메시지가 1개 또는 2개 정도 저장할 수 있는 메모리 공간을 가져야 한다고 하였다.
- RF 채널 대역폭을 감소시키기 위해 22.5도 위상 스킴을 사용하는 것이 가능한가를 문의하였고, VDL은 non-coherent 시스템이기 때문에 위상은 개발자가 원하는대로 적용하여도 무방하며, 송신측에서 어떤 위상을 사용하더라도 수신측에서 인식하는데는 아무런 영향이 없다고 답변하였다.

○ Questionnaires for Miscellaneous Things

- KARI에서 개발한 테스트용 소프트웨어 VDR인 Virtual VDR이 ADS사의 PVDL 시스템과 연동이 가능한지를 문의하였다. ADS사의 PVDL은 순수 소프트웨어이며 ADS사의 mini-VDR과 RS-232 통신을 수행한다. 그러나 PVDL 시스템은 기존의 CMU와는 달리 VDR에서 수행되어야 하는 많은 기능을 포함하고 있는 시스템이므로 ARINC에서 제시한 ASIP와는 달리 ADS-ASIP 프로토콜을 별도로 개발하여서 사용한다. PVDL과 KARI의 Virtual VDR을 연동하기 위해서는 PVDL에서 생서하는 데이터 포맷을 반영할 수 있어야 하며, PVDL에서 mini-VDR로의 요청에 대해 응답할 수 있어야 한다고 답하였다. 이와 함께 ADS사에서 보유하고 있는 ADS VDR Emulator라고 하는 소프트웨어를 제시하며 이 소프트웨어를 구매하고 활용할 것을 권하였다.
- ADS사의 VDR 기능에 대해 간략히 설명을 요청하였다. ADS사의 VDR은 Assembler와 C 언어로 제작되었으며, Assembler로 제작된 부분은 Header FEC이며, C 언어로 제작된 부분은 Reed Solomon, Interleaving, Bit Stuffer, 16 bit FCS가 있다고 하였다. 덧붙여 이에 대한 간략히 기술해주었다.

○ Questionnaires for CPDLC / AOA Module

- VME 단에서 링크가 종료되었을 대 AOA 처리는 어떻게 진행되는지를 문의하였다. ADS사의 탑재 AOA 모듈은 응답을 받을 때까지 그 메시지를 보관하며 재전송하게 되며, 지상 AOA 모듈은 VGC1 번 시도가 끝나거나 VDL M2 링크가 끊어지면 해당 메시지를 삭제한다고 답변하였다.
- CPDLC와 KARI Wrapper 코드간 인터페이스에 대해 문의하였다. ADS사에서는 일반적으로 운용장비와 Wrapper 코드간 TCP 통신이 두절되는 경우는 없어야 하기 때문에 통신이 두절되면 이를 보고할 수 있는 방법을 가져야 한다고 답변하였다.

○ Questionnaires for AOA Module

- ADS사의 AOA 모듈 구현 구조에 대해 설명을 요청하였다. ADS사에서는 탑재와 지상 각각에 대하여 소프트웨어 stack을 도식화하여 제공하였다.

○ Questionnaires for ADS-C and AFN Implementation

- ADS-C와 AFN 함수 구조, 파라미터에 대해 질의하였고, ADS 사는 이에 대해 탑재장비와 지상장비 각각의 함수에 대해 파라미터 정의, 함수 호출 시점 등에 대해 상세히 기술하여 제공하였다.

(3) ADS사 엔지니어의 한국 방문을 통한 집중 회의

2007년 12월 10일부터 12월 14일까지 5일간에 걸쳐 ADS사 엔지니어와 VDL M2 개발 참여기관이 참석한 회의가 진행되었다. ADS사에서는 General Manager이자 소프트웨어 개발 책임자인 Tim Hales와 AOA 모듈 개발자인 Peter Vinci가 방문하였다. 5일간의 회의 기간 동안 소프트웨어와 하드웨어에 관한 질의(가, 나 항목에 대한 세부항목 검토 및 설명, 추가 질의)와 답변이 진행되었다.

(4) 항우연 엔지니어의 ADS사 방문을 통한 구현 및 시험평가 회의

(가) AOA 모듈 소프트웨어 인터페이스 시험

ADS사의 AOA 소프트웨어 모듈에 대한 인터페이스 시험을 수행하였다. ADS의 AOA 모듈은 우리 시스템의 VME 부분에 인터페이스 되고, 또한 운용시험용 응용프로그램과 KARI wrapper code라는 항우연에서 개발한 모듈을 통해 인터페이스 된다. 따라서 항우연에서 개발한 VME 소프트웨어에 ADS사의 AOA 모듈을 라이브러리 형태로 통합하여 새롭게 컴파일하고, 인터페이스 시험을 수행하는 검증이 필요하였다.

ADS사에서 제공하는 AOA 모듈은 라이브러리 파일과 헤더 파일로 구성되며, VME 소프트웨어와 KARI wrapper 모듈에서는 헤더파일에 정의된 함수를 호출함으로써, AOA 모듈을 호출하여 사용하게 된다.

본 검증을 위해 항우연에서는 정상 운용과 관련되는 테스트 시나리오를 미리 준비하였다. 최종적으로 VME 소프트웨어는 KARI wrapper code를 통해 응용프로그램과 인터페이스 되어야 하지만, 본 시점에서 응용프로그램과의 완전한 연동은 필요로 하지 않으므로, 응용 프로그램을 대신할 수 있는 자체적인 TCP/IP 통신 프로그램을 구성하는 방법으로 시험을 준비하였다.

시험을 통해, 항우연에서 제작한 소프트웨어 모듈에 대한 수정과 검증을 완료하였으며, ADS 개발 모듈과 인터페이스에 대한 수정을 완료하였다.

(나) RCC(Requirement Compliance Checklist) 검토

VDL M2 시험 장비를 개발을 통해 다양한 VDL M2 시스템의 시험을 수행한 경험이 있는 ADS에 KARI VDL M2 시스템에 대한 시험항목에 대해 검토를 받았다. 항우연에서 준비한 RCC 시트를 ADS 엔지니어와 함께 검토하고, ADS에서 개발하여 납품한 AOA 모듈과 CPDLC 부분 인터페이스에 대한 시험항목에 대해서도 자문을 받았다.

RCC 검토를 위해 항우연에서는 DLS와 VME에 대한 RCC를 준비하여, 항우연에서 작성한 RCC 항목이 적절한지, 항목별 시험방법이 적절한지를 위주로 검토를 받았다. 시험 항목은 조사(INSP/Inspection), 분석(ANAL/Analysis), 시범(EXAM/Examination), 단품시험(UT/Unit Test), 인터페이스시험(IT/Interface Test), 지상시험(GT/Ground Test), 비행시험(FT/Flight Test), 환경시험(ET/Environmental Test)으로 구성하였다. 인터페이스 시험은 ADS사 장비를 연결하여 수행되는 시험이고, 지상시험과 비행시험은 야외 무선통신을 이용한 시험을 의미한다. DLS와 VME에 대한 RCC 검토에서 항목의 추가나 삭제는 거의 없었으며, ASIP(AVLC Simple Interface Protocol)에 대한 RCC 추가가 필요하다고 결론을 내렸다. 항목별 시험방법에 있어서는 큰 차이를 보였는데, 인터페이스 시험과 지상시험을 위해 실험실 통합 시스템을 꾸며놓고 유선으로 시험하는 실험실 시험(LT/Lap Test)가 추가되었다. 실험실 시험에서는 유선환경으로 통신상태가 안정될 뿐 아니라, 사내 컴퓨터와 네트워크를 이용한 디버깅 환경구축이 가능하기 때문이다. 항목별 시험방법에 있어서는 비행시험과 지상시험을 최소화하는 방향으로 진행되었다. 비행시험에서는 RF 성능과 환경조건을 고려한 시험에만 초점을 두고, 지상

시험에서는 이동하는 야외 환경에서의 성능조건을 고려한 시험에 초점을 두는 것으로 하였다. 물론, GSIF 송신과 핸드오프, 정상적인 데이터의 송수신 기능을 지상시험과 비행시험에 모두 포함되도록 하였다. 최종적으로 수정된 DLS와 VME에 대한 RCC는 7절의 시험평가 부분을 참고하면 된다.

AOA 모듈과 CPDLC wrapper에 대한 RCC 항목과 시험방법에 대해서도 논의하였다. 여기에는 각 모듈의 담당자인 Peter Vinci와 Brendon Costa가 오전 업무시간 동안 사전 항목을 준비해오고, 준비한 항목에 대해 검토하는 방법으로 진행하였다. 응용프로그램 데이터가 아닌 AOA 모듈과 CPDLC wrapper로부터 발생되는 데이터는 개발되는 장비에서는 확인이 불가능하므로, ADS사의 장비를 이용한 인터페이스 시험에서만 수행될 수 있다. 따라서 AOA와 CPDLC wrapper의 RCC 항목에 대해서는 모두 인터페이스 시험에서만 수행되도록 하였다. AOA 모듈과 CPDLC wrapper에 대한 RCC는 7절을 참고하면 된다. CPDLC wrapper는 항공기와 지상국이 동일하며, AOA 모듈은 약간 차이를 보인다. 본 설계에서는 AOA 모듈에 있어서는 항공기와 지상국을 모두 포함한 RCC 항목을 받았다.

제 2 절 VDL M2 및 CNS/ATM 관련 해외 기술 동향 분석

1. EUROCONROL 기술 정보

유럽의 Eurocontrol의 Link 2000+ 프로그램 목적은 2000년부터 2007년까지 유럽의 항공 중심 밀집지역에서 데이터 링크를 이용하여 ATM(Air Traffic Management) 서비스를 가능케 할 계획이었다. Eurocontrol EATM 구조에 ATS 데이터 링크 구현을 수행하고, ICAO에서 제시한 CNS/ATM 개념과 기존의 ATN, AOC 통신의 가능성과 활용성 연구를 바탕으로 VDL Mode 2을 인식하였다.

Eurocontrol은 아래와 같은 분야에서 도움이 될 수 있도록 VDL Mode 2 관련 연구를 수행 중에 있다.

- ○ 표준화
  - ▪ 현재는 VDL M2 MOPS와 AEEC 표준안에 개발에 참여하고 있고, ICAO SARPs, Eurocade VDL MOPS, ETSI VDL 지상관제장비의 스펙 정립에 기여하였다.
- ○ 주파수 이슈
  - ▪ 항공용 VHF 주파수 영역내에서 VDL Mode 2 주파수와 다른 주파수 사이의 간격문제 연구, 이러한 문제는 주파수 효율과 데이터 전송의 안정성에 커다란 영향을 미친다.
- ○ 유효성
  - ▪ 비행시험과 지상시험을 통한 AVLS 프로토콜 계층과 물리적인 계층 사이의 유효성 연구.
- ○ 주파수 용량 이슈
  - ▪ ATS 서비스를 VDL M2로 제공하기 위해 기존의 공급자들과 주파수 호환문제 연구
- ○ 상호간섭
  - ▪ VDL M2 장비가 항공기에 장착될 때, 기존의 항공용 VHF 대역 장비들과 상호간섭 및 영향에 대한 연구

2. Airservice Australia의 CNS/ATM 프로젝트 현황

Airservice Australia는 호주 정부 산하의 기업으로 안전하고 환경 친화적인 항공 교통 관제 미 관련 항공 서비스를 제공한다. 호주는 CNS/ATM 분야에 있어서 매우 선진화된 연구개발을 수행중에 있으며, 그 주체가 되는 기관이라 할 수 있다. Airservice Australia에서 추진하고 있는 CNS/ATM 분야의 프로젝트는 ADS-B, RNP-AR Approaches, GBAS trial, Flexible tracking, Wide Area Multilateration의 다섯 분야로 구분되며, 그 내용은 다음과 같이 요약된다.

○ ADS-B

- Program to provide ADS-B in airspace above 30,000 feet where radar coverage not available. 11 of 28 sites in operation.
- All 28 will become operational during 2008
- Information is available at - www.airservicesaustralia.com/pilotcentre/projects/adsb/default.asp
- A consultation paper on more widespread use of ADS-B (including possible mandatory avionics fitment) was released earlier 2007, and responses are being assessed.
- Refer www.casa.gov.au/newrules/airspace/jcp/

○ RNP-AR Approaches

- Program to implement RNP-AR approaches at a number of airports (Required Navigation Performance - Authorization Required) - as an alternative to expensive ILS systems
- RNP-AR Approach and/or Departure operations are progressively being introduced at 15 airports in Australia.
- Conformance monitoring of the operations is in place at Brisbane airport.
- A paper on this topic can be downloaded from www.bangkok.icao.int/meetings/2007/cnsmet_sg11/ip36.pdf

○ GBAS trial

- GBAS is an augmentation of GPS to the point where the signals can be used for landing guidance, instead of ILS
- Trial system installed at Sydney, and QANTAS have some aircraft equipped. Performance data is being collected to enable certification
- A GBAS glossy is at http://www.gnssapproach.com.au/pages /images/07_003GBAS.pdf

○ Flexible tracking

- Flexible routes introduced (adjusted daily to pick up or avoid winds) between certain city pairs.
- Information is available at - www.airservicesaustralia.com/customer /AUSOTS/default.asp
- A daily plot of flextracks from Singapore can be viewed at -www.airservicesaustralia.com/customer/AUSOTS/image.asp? /flextracks /ausots1.gif

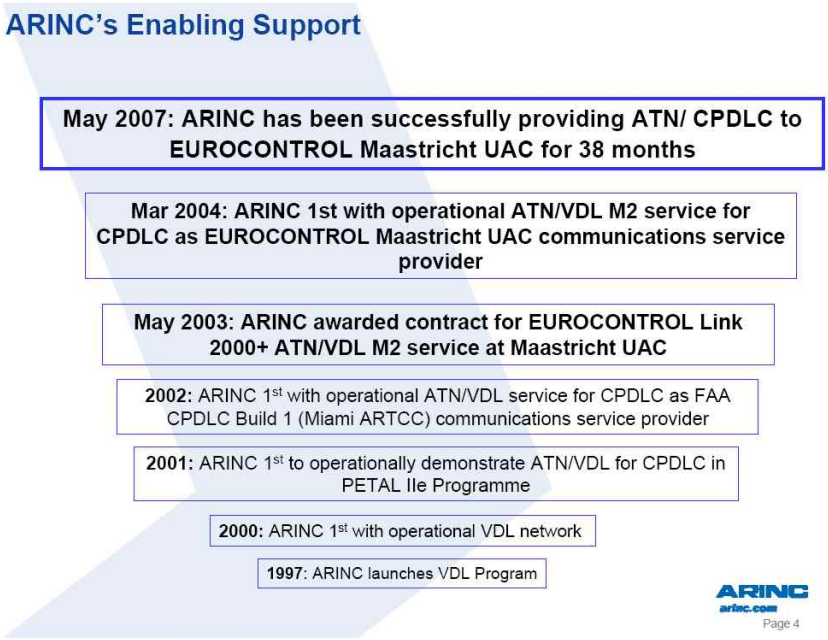
○ Wide Area Multilateration

- Wide area multilateration system in being installed in Tasmania, as an alternative to a traditional SSR.
- This is seen as a transition to widespread use of ADS-B (at which time multilateration is not needed)

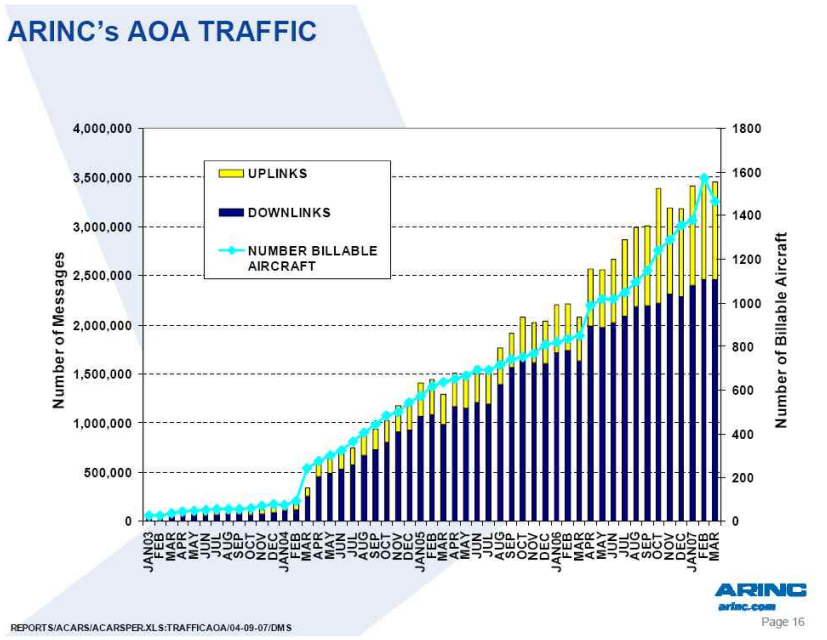
3. ARINC의 ATN/VDL 시스템 현황

ACARS 서비스와 VDL M2 시스템 개발의 선두주자인 ARINC에서 1997년부터 현재까지 VDL M2 시스템과 관련한 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 이에 관하여 ARINC에서 2007년도에 개최된 ICNS에서 발표한 ATN 및 VDL 시스템에 관한 발표 자료를 입수하였으며, 핵심 내용은<그림 6-2-3-1>과 <그림 6-2-3-2>와 같

다.



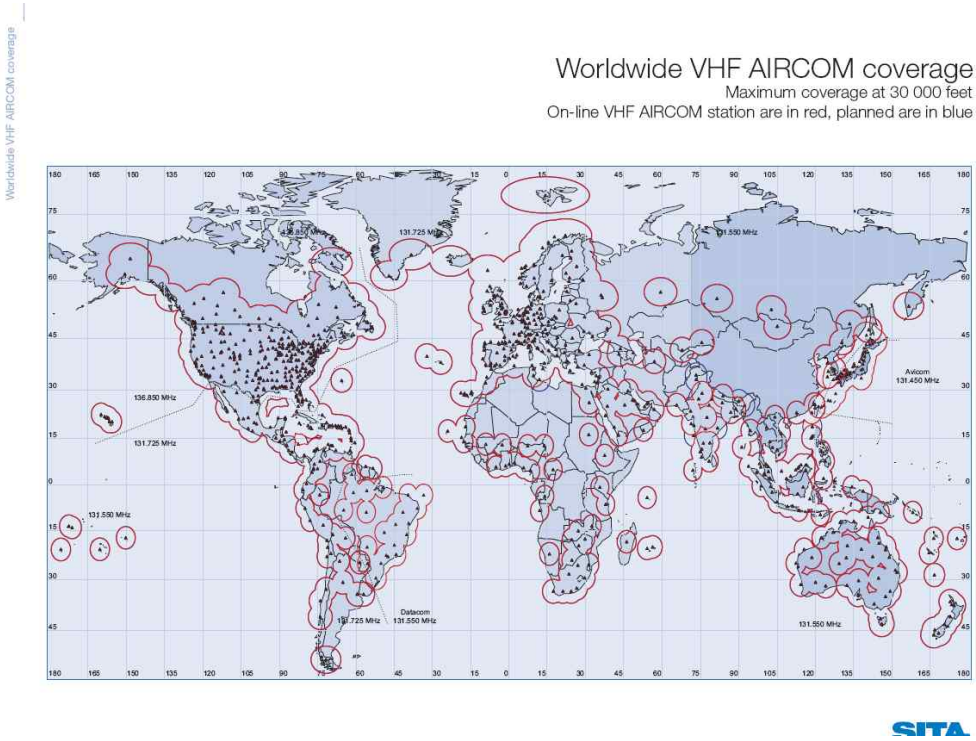
<그림 6-2-3-1> ARINC ATN/VDL 개발 진행 현황



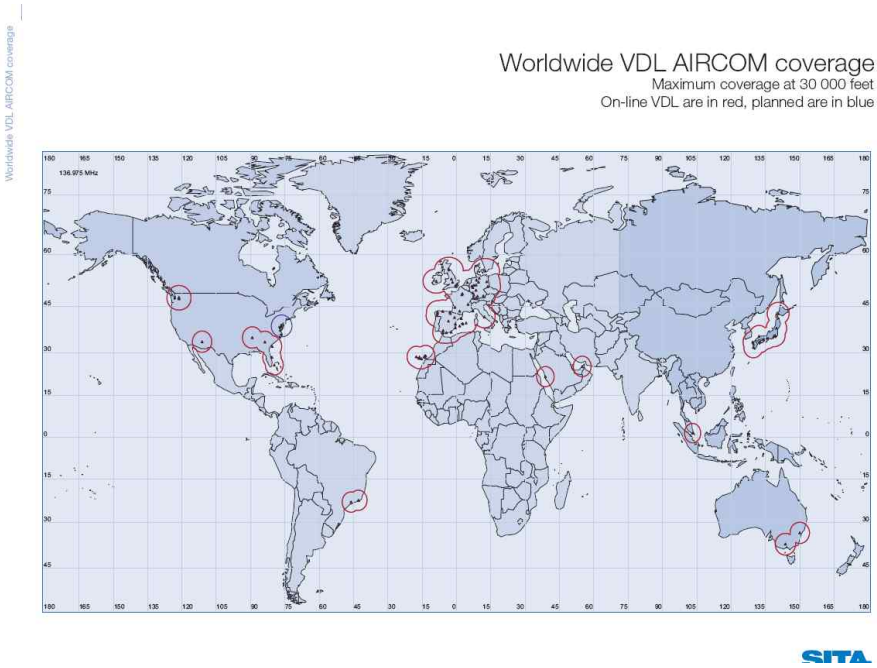
<그림 6-2-3-2> ARINC AOA Traffic

4. SITA의 VHF 서비스 현황

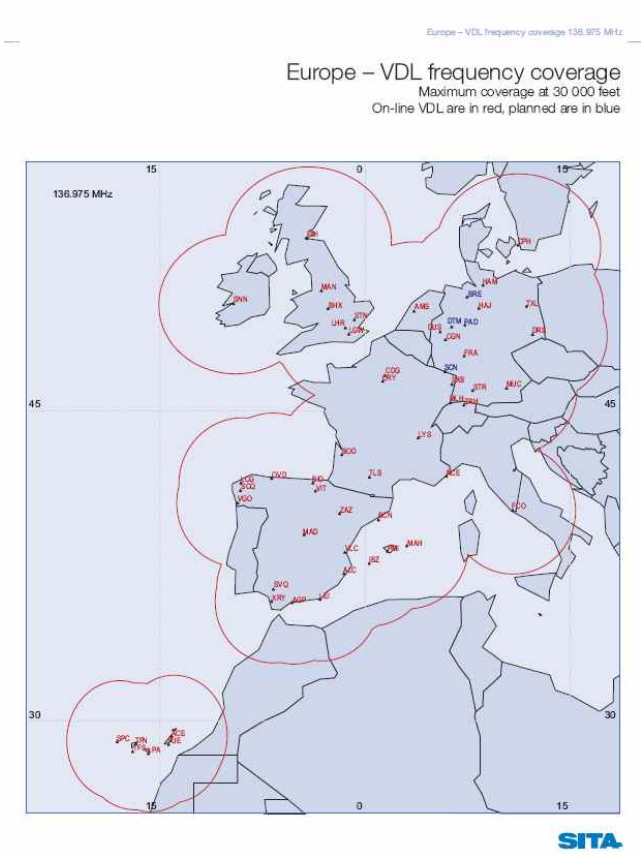
SITA에서 현재 운용중인 전 세계의 VHF 음성통신과 VDL 통신 서비스 현황 자료를 입수하였다. VHF 음성 통신은 전 세계적으로 거의 모든 국가에서 서비스 되고 있으며, VDL 서비스와 관련하여서는 현재 유럽 각지와 브라질, 일본, 중국 등을 중심으로 서비스가 이루어지고 있다. 각 현황에 대한 도식자료를 <그림 6-2-4-1>부터 <그림 6-2-4-3>에 보였다.



<그림 6-2-4-1> Worldwide VHF AIRCOM coverage



<그림 6-2-4-2> Worldwide VDL AIRCOM coverage



<그림 6-2-4-3> Europe VDL frequency coverage

제 3 절 VDL M2 관련 국제 표준 규격

VDL M2 개발과 관련한 국제 표준 규격을 획득하였으며, 각 문서에 대한 개요와 리스트를 <표 6-3-1-1>과 <표 6-3-1-2>에 보였다.

<표 6-3-1-1> VDL M2 관련 국제 표준 규격 (1/2)

규격번호	규격명	내용
ICAO Annex10	VDL SARPs	Standards and Recommended Practices for VDL
ICAO Doc 9776	VDL M2 Technical Manual	ICAO Annex 10 보충 자료, 계층별 파라미터/Primitive 설명
RTCA/DO-224B	MAPS for VDL Mode 2 & 3	신호 규격, 계층별 프로토콜, 파라미터, 서비스 상세 정의, 프로토콜 분석 작업 활용
RTCA/DO-281A	MOPS for VDL Mode 2	최소운용 요구표준, 시스템규격/시험평가 근간자료
ARINC 631	VDL Implementation Provisions	VDL Mode2 구현과 관련한 프로토콜 및 ATN과의 유기적인 관계 정의
ARINC 758	CMU Mark II	탑재용 CMU 장비 규격, ATN 지원 CMU 규격 정의, 탑재용 통신제어장치 구성품 규격서 활용
ARINC 750	VHF Data Radio	탑재용 VDR 장비 규격, CMU와 VDR 간 인터페이스 정의
ARINC 429	Mark 33 Digital Information Transfer System	항공전자장치간 디지털 데이터 전송 표준
ISO 8208	X.25 Packet layer Protocol	ITU-T 표준인 X.25 프로토콜 정의, VDL M2 SNAcP와 관련
ISO 13239	HDLC Procedures	VDL M2의 AVLC 프로토콜의 근간
ISO/IEC 8885	HDLC XID Frame Information Field Content and Format	HDLC의 XID Frame의 Information Filed의 내용과 형식에 관한 기술정보
ETSI EN 301 841-1 and 2	VDL M2; 지상기반장비에 대한 기술특성과 시험방법	ERM; VDL M2 지상기반장비에 대한 기술특성과 시험방법, 지상 장비를 위한 규격서, Part 1: Phy. Layer and MAC sub-layer Part 2: Upper layers

<표 6-3-1-2> VDL M2 관련 국제 표준 규격 (2/2)

규격번호	규격명	내용
RTCA/DO- 186A	MOPS for Airborne Radio Comm. Equipment	MOPS for Airborne Radio Communications Equipment Operating, VHF Radio 장비 규격서
RTCA/DO-160	항공기 탑재장비 환경 조건 및 시험절차	항공기 탑재장치를 위한 환경시험 요구조건 및 시험절차 설명
ICAO Doc 9694	Manual of ATS Data Link Applications	항공 데이터링크를 이용한 각종 응용 서비스에 대한 기술 자료
RTCA/DO-178B	Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification	Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. 탑재장비 인증을 위한 S/W 개발 절차
ICAO Doc 9705	Manual of Technical Provisions for the ATN	항공통신망에 대한 기술 자료
ARINC 637P1-1	ATN Implementation Provisions, Part 1	ATN Implementation Provisions, Part 1, Protocols and Services
ARINC 618-6	ACARS 프로토콜 사양	기지간 문자중심 프로토콜인 ACARS에 프로토콜에 대한 사양 정의
ARINC 619	ACARS Protocol for Avionic End Systems	ACARS 프로토콜을 기반으로 한 탑재장비 인터페이스 정의
ARINC 620-5	Data Link Ground System Standard and Interface Specification (DGSS/IS)	DSP와 Data Link 이용자간 인터페이스 정의
ARINC 622-4	ATS Data Link Applications over ACARS Air-Ground Network	ATS(ATC) 응용을 위해 통신요구조건을 만족시키기 위한 ACARS의 기능을 정의함.
ARINC 623-3	Character-Oriented ATS Applications	문자중심의 ATS응용에 대한 기능을 정의
FAA, TSO-C169a	VHF 송수신기	항공기 표준장비로써의 VHF송수신기 인증을 위한 기술표준서
FAA-G-2100H	Electronic Equipment, General Requirements Application Handbook	FAA에서 정의한 전자장비에 대한 일반 요구요구조건 정의
MIL-STD-810F	Environmental Engineering Considerations And Laboratory Tests	미 군용장비에 대한 환경조건 및 환경시험 절차서

제 7 장 참고문헌

[1] ICAO ANNEX 10, VOLUME III, Chapter 6. VHF Air-ground Digital Link SARPs

[2] RTCA DO-224A, "Signal-In-Space Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) For Advanced VHF Digital Data Communications including Compatibility with Digital Voice Techniques", Sept. 13, 2000

[3] RTCA DO-281, "Minimum Operational Performance Standards for Aircraft VDL Mode 2 Physical, Link, and Network Layer", June 25, 2002

[4] RTCA DO-160D, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment"

[5] ISO/IEC 13239, "Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems - High-level Data link Control (HDLC) Procedures", 3rd Edition, July 15, 2002.

[6] ARINC CHARACTERISTIC 750-4, "VHF Data Radio", Aug. 11, 2004

[7] ARINC SPECIFICATION 600, "Air Transport Aviations Equipment Interface".

[8] ARINC SPECIFICATION 429, "Mark33 Digital Information Transfer System".

[9] DOC 9694-AN/955, "MANUAL OF AIR TRAFFIC SERVICES DATA LINK APPLICATIONS".

[10] ISO 8208, "Information Processing Systems - Data Communications - X.25 Packet Level Protocol for Data Terminal Equipment".

[11] ARINC CHARACTERISTIC 750-4, "VHF Data Radio", Aug. 11, 2004

[12] ARINC CHARACTERISTIC 758-2, "Communications Management Unit (CMU) Mark 2", July 8 2005

[13] ICAO Doc 9805 An/763, 2002

[14] Cyclic Redundancy Check (CRC) code

[15] http://en.wikipedia.org/wiki/Binary_Golay_code, Golay word

[16] http://en.wikipedia.org/wiki/ALOHAnet, Slotted aloha random access

reservation protocol

[17] Augmented Multiband Excitation(AMBE), version AMBE-ATC-10, Digital Voice Systems, Inc. (DSI)

[18] International Standard ISO/IEC 8208 4th, 2000

[19] 한국항공우주연구원, “차세대 항공 데이터통신시스템 1차년도 보고서”, 2006. 4. 18

[20] http://www.avdat.co.au/airground/vdlmode2_software.html.

[21] http://www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/overview.html.

[22] 한국항공우주연구원, “차세대 항공 데이터통신시스템 2차년도 보고서”, 2007. 6. 30

[23] RTCA DO-281, "Minimum Operational Performance Standards for Aircraft VDL Mode 2 Physical, Link, and Network Layer", June 25, 2002

[24] 차세대 항공데이터 통신시스템 개발관련 3차년도 협동기관(파인텔레콤) 보고서, 2008.

[25] 차세대 항공데이터 통신시스템 개발관련 3차년도 위탁기관(경희대학교) 보고서, 2008.

[26] VDR 시험절차서, 파인텔레콤, 2008.

[27] 한국항공우주연구원, “항공용 위성항법시스템 기반기술 개발 제3차년도 중간보고서”, 2007. 6. 13

[28] “The Many Faces of Air-Ground Data Link", Canso, CNS/ATM Work Group, May 2003

[29] S. Gligorevic, "A-SMGCS Data Link Situation", DLR, 2006

[30] Miodrag Sajatovic, Frequentis GmbH, Michael Schnell, "Future Aeronautical Communications Concepts and Their Impact on ATM Procedures"

[31] "Data Link Communications", NBAA, September 2002

[32] "Current Status and Future Direction in Aeronautical Communications", ENRI, April 2005

[33] "Agenda item 10: Available spectrum for the implementation of ICAO systems - Aviation Spectrum Resource Map for Europe", EUROCONTROL, Seminar on Aeronautical Spectrum Management, Cario, 7-17 June 2006

[34] ARINC SPECIFICATION 622-4, "ATS Data Link Applications over ACARS Air-Ground Network"

[35] ARINC SPECIFICATION 620-5, "Data Link Ground System Standard and Interface Specification (DGSS/IS)"

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설교통기술연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설교통기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
한국항공우주연구원 TEL 042)860-2438
LIG 넥스원 TEL 042)610-7224
(주)파인텔레콤 TEL 042)336-7900
(주)리얼타임웨이브 TEL 02)572-9471

R&D / 05교통핵심A03-1

차세대 항공 데이터통신시스템(VHF Data Link) 개발 최종보고서

■ 발행일 / 2009. 7. 9.

■ 발행처 / 한국항공우주연구원
대전시 유성구 어은동 과학로 115
TEL : 042-860-2114

■ 인쇄처 / 한국항공우주연구원