

항공관제용 VHF대역 수신기 설계 및 구현에 관한 연구

A Study on the Design and Realization of a VHF Receiver for Air Traffic Control

강석엽*, 박욱기**, 고민호**, 김용균**, 송병진**, 박효달**

Suk-Youb Kang*, Wook-Ki Park**, Min-Ho Go**, Yong-Kyun Kim**, Byoung-Jin Song**, and Hyo-Dal Park**

요 약

본 논문에서는 항공관제용 VHF대역 무선 수신기 설계 및 제작에 관하여 연구하였다. 모든 회로는 블록 단위로 설계 제작하여 검증 후 최종적으로 통합하였으며, 크게 3개의 모듈 즉, 수신부, 제어부, 전원부로 구성하였다. 성능은 관제용 무선 수신기에 적합한 사양을 만족하도록 설계 제작하였으며, 특히 수신기에 있어서 가장 중요한 성능 지표인 수신 감도는 -113 dBm으로 기존 상용 제품 보다 우수하였다. 연구된 항공관제용 무선 수신기는 CNS/ATM의 기본 요소로 사용되기에 충분한 시스템이라고 판단된다.

Abstract

This paper discusses the design and fabrication of a wireless VHF receiver for use in air traffic control. The VHF receiver was designed and tested in three modules: a control module, a receiver module and a power module, all of which were integrated into a single block for final testing. The fundamental performance of the receiver, and in particular, sensitivity, the most important factor, is designed to satisfy existing commercial wireless transmitter specifications for air traffic control. The receiver displays a sensitivity of -113 dBm, which is higher performance than existing commercial products, and is suitable for use as a basic component of CNS/ATM.

Key words : 항공관제용, VHF, Receiver, Wireless

I. 서 론

항공관제용 VHF, UHF 송수신기는 우리나라에 항공기가 도입된 1946년 이래 지금까지 사용된 시스템이며, 항공기가 존재하는 한 계속 사용될 시스템이다. 2000년대는 항공우주 시대로 전 세계가 일일 생활권으로 묶여 있으며, 초음속기가 일반화될 미래에는 전 세계가 하나질 생활권으로 묶일 것이

며, 국제민간항공기구(ICAO)에서는 미래 항행 시스템(CNS/ATM)에 VHF 데이터 통신망을 포함시켜 각국에 이와 같은 시스템 개발을 권장하고 있다 [1]-[4].

국내에서는 1980년대 이후 급속히 무선통신 분야가 발전하여 다양한 방식의 장비가 제품화되어 국제 경쟁력을 갖고 전 세계 시장을 주도해 나가고 있는 실정이나, 항공관제용 장비는 한정된 시장과 고

* (주)아이엔텍(INTECH. Co., Ltd.)

** 인하대학교 전자공학과(Dept. Electronics, In-Ha University)

· 제1저자 (First Author) : 강석엽

· 접수일자 : 2006년 1월 11일

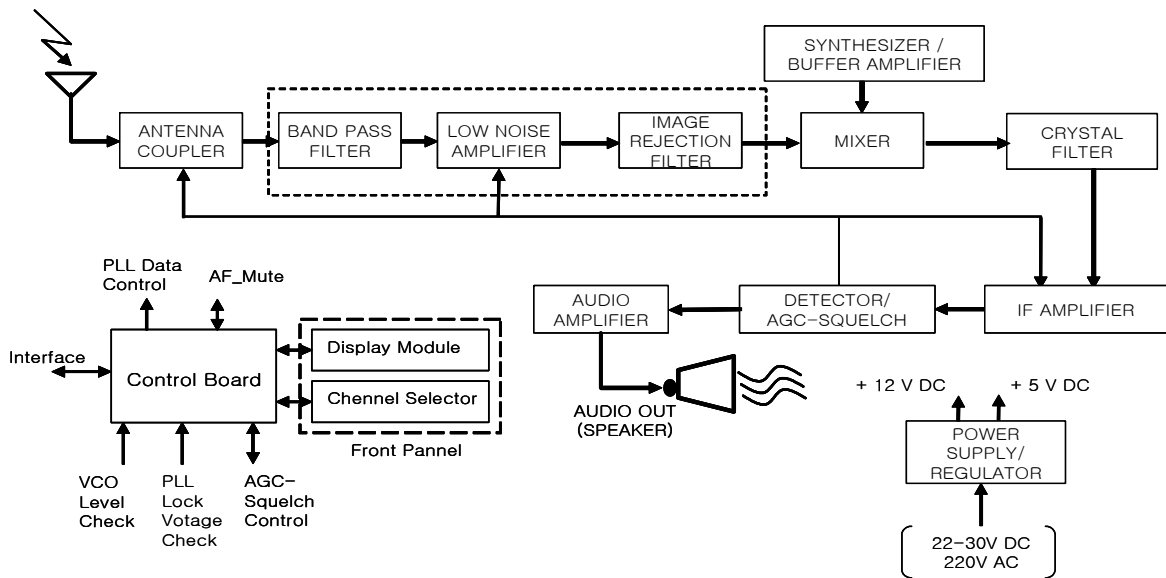


그림 1. 수신 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagram of receiver system.

도의 신뢰성을 요구하는 특수한 장비임에 지금까지 이 분야를 연구 개발하려는 시도가 많지 않았다.

본 논문에서는 이와 같이 연구 개발 시도가 부진했던 항공관제용 무선 수신기 설계와 제작에 관하여 연구하였다.

II. 수신기 설계 및 제작

2-1 설계 사양서 및 성능 규격

국내 항공관제 통신용으로 사용하고 있는 장비들은 관제용 장비로써 충분히 검증된 장비이므로 이 장비 사양들을 기반으로 국내에 적합하도록 사양을 도출하여 설계 제작하였다[6]-[8].

설계 제작하려는 VHF 수신기의 기본 목표 사양은 현재 많은 공항의 지상 수신 장비로 사용되고 있는 시스템들의 성능을 기반으로 다음과 같이 설정하였다.

- 주파수 범위 : 117.975 ~ 136.975MHz
- 채널 간격 : 25 KHz
- 주파수 오차 : 1.5ppm이하, (-20°C ~ +55°C)
- 변조모드 : A3E, AM 음성
- 사용전원 : AC 220V / DC 27V

- 장비크기 : 19인치 표준랙에 실장 가능
- 감도 : 1.0uV (-107dBm)
1KHz로 m=0.3일 때 10dB (S+N):N비
- IF 선택도 : +11KHz로 -6dB 초과 +25KHz로 -80dB 미만
- 스퓨리어스 응답 : 80dB초과 반송파로부터 2MHz 미만, 100dB초과 반송파로부터 2MHz 초과
- 찌그러짐 : -45dBm에서 RF입력으로 측정했을 때 m=0.8에서 5%미만

2-2 설계 및 제작

그림 1은 설계 제작된 VHF 항공관제용 무선 수신기의 구성도이다. 이는 크게 3개의 주요부 즉, 전원부, 제어부, 수신부로 구성되어 있으며, 그 외에 정면 패널부, 보호 회로부 및 검출 회로부 등으로 구성되어 있다.

주된 기능을 수행하는 수신부는 일반적으로 가장 많이 이용 되는 슈퍼헤테로다인 방식으로 구성하였다. 원하는 신호만을 통과 시켜주는 통과대역 여파기(BPF : Band Pass Filter)와 잡음을 적게 하고 원하는 신호만을 증폭하는 저잡음 증폭기(LNA), 첫 번째 중간 주파수(IF : 45.1 MHz)로 변환하기 위한

혼합기(Mixer)와 혼합기에 필요한 반송파를 발생 시켜 주는 전압 제어 발진기(VCO), 위상비교기 및 Loop filter 등을 포함한 주파수 Synthesizer부, 중간 주파수로 변환한 신호를 증폭 시켜 주는 중간 증폭기(IF AMP), 두 번째 중간 주파수(IF: 455 KHz)로 변환하기 위한 두 번째 혼합기, 두 번째 혼합기에 필요한 반송파를 발생시키는 발진기와 원래 신호로 복원 시키는 복조 회로, 복원한 신호를 증폭시켜 주는 오디오 증폭기 및 각종 검출회로 등으로 구성되어 있다.

모든 회로는 Agilent Technologies사의 상용 설계 툴인 ADS를 이용하여 설계하였으며, 제작 및 측정과정을 통하여, 검증한 후 전체 회로에 적용하였다.

1) 대역통과 여파기(BPF)

그림 2는 대역통과 여파기의 구조로 Q값이 높은 코일 인덕터와 커패시터를 이용하여 설계하였다. 그림 3에 이에 대한 결과를 나타내었으며, 삽입 손실은 0.5dB이하이고 중심 주파수에서 ±70MHz대역에서 -40dB이하 억압되었다.

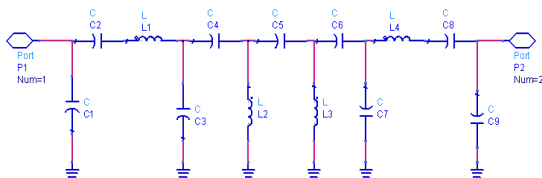


그림 2. BPF 구조
Fig. 2. The schematic of BPF.

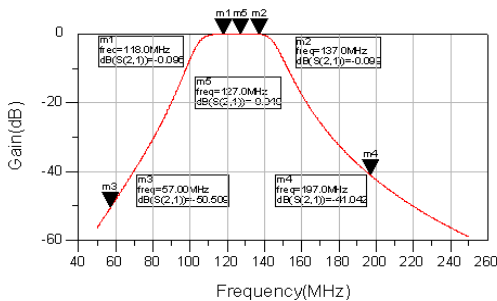


그림 3. BPF 모의실험 결과
Fig. 3. The characteristic of BPF.

2) 저잡음 증폭기(LNA)

그림 4의 LNA의 구조에 사용된 능동 소자는

2SC4226 트랜지스터이며, 고정바이어스 회로로 구성하였다. 입출력 정합은 그림 5에 나타난 바와 같이 입력단에는 잡음을 줄이기 위한 Γ_{opt} 정합 방법을 사용하였으며, 출력단에는 이득을 높이기 위해 S22의 공액 정합 방법을 사용하였다. 설계 결과는 모든 대역에서 안정도가 1보다 크며, 그림 6과 그림 7에 나타난 바와 같이 이득은 23dB이상 노이즈는 1.0dB이하임을 확인하였다.

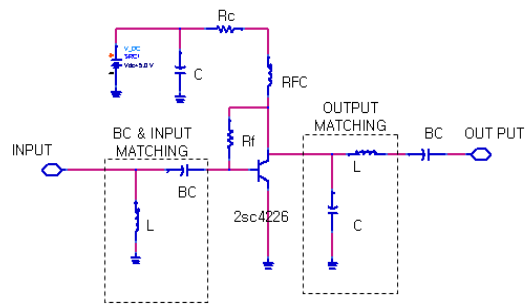


그림 4. LNA 구조
Fig. 4. The schematic of LNA.

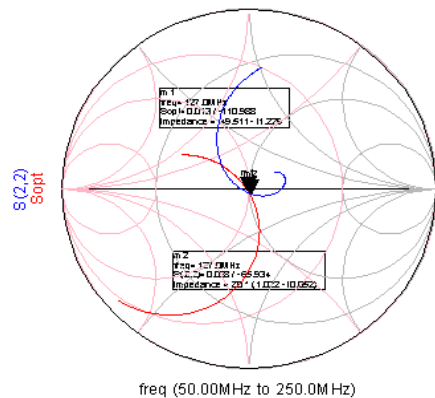


그림 5. LNA 입출력 정합
Fig. 5. Input, output matching of LNA.

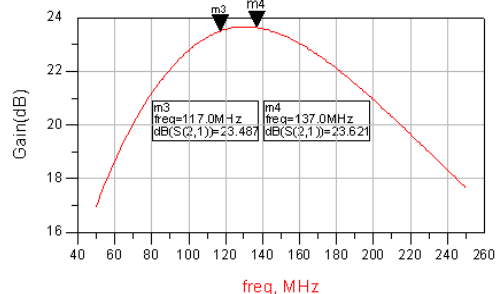


그림 6. LNA 이득 모의실험 결과
Fig. 6. The gain performance of LNA.

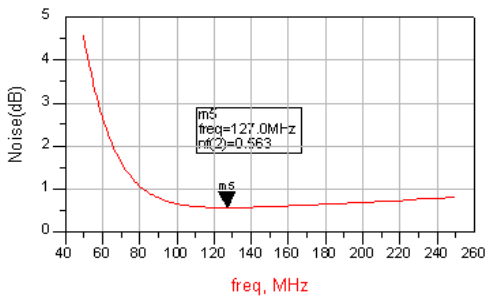


그림 7. LNA 노이즈 모의실험 결과
Fig. 7. The noise performance of LNA.

3) 혼합기(Mixer)

그림 8은 설계된 Mixer의 구조로 KEC사의 2SC3880s를 이용하여, 단자간의 격리도가 좋게 트랜지스터 베이스단에 RF 입력 신호를 인가하고 이미터에 국부 발진기 신호를 인가하는 형태로 설계하였다. 그림 9는 출력단에서 45.3MHz 여파기를 이용하여 하모닉 성분을 억압한 결과를 나타내며, 그림 10은 RF입력을 -20dBm으로 인가하고 LO 전력의 변화에 따른 IF 출력을 얻은 모의실험 결과로 최적의 LO 입력 전력은 5dBm임을 확인하였다.

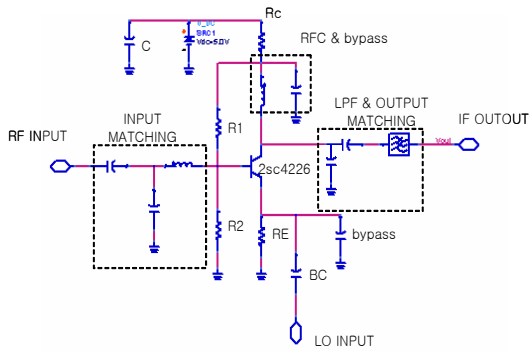


그림 8. 혼합기 구조
Fig. 8. The schematic of Mixer.

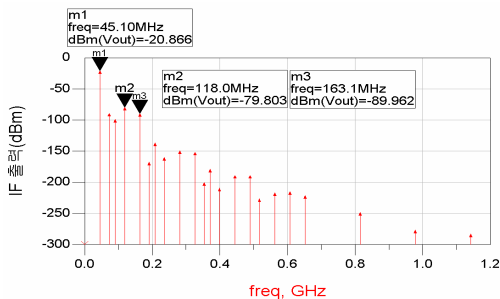


그림 9. 혼합기 하모닉 성분
Fig. 9. Harmonic component of mixer.

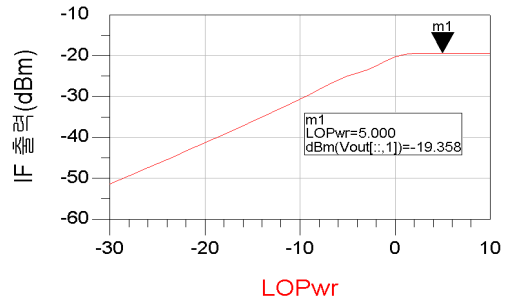


그림 10. LO 전력에 따른 IF 출력 변화
Fig. 10. The output power of IF as a function of LO power.

4) 주파수 합성기 (Frequency Synthesizer)

그림 11은 위상비교기와 리플 성분을 제거하여 제어 전압을 직류로 만드는 Loop Filter, 그리고 혼합기에 필요한 반송파를 얻기 위한 전압 제어 발진기 등으로 구성된 주파수 합성기의 구조이다.

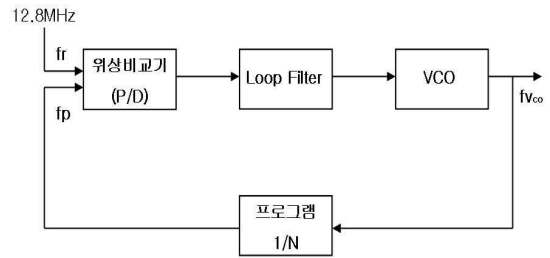


그림 11. 주파수 합성기 구조
Fig. 11. Block diagram of frequency synthesizer

주파수 합성기에 사용된 PLL IC는 National사의 LMX2332LTM 칩을 이용하여 설계하였으며, 전압 제어 발진기 구조는 그림 12에서 보여 주고 있으며 발진부와 공진부로 나누어 볼 수 있다.

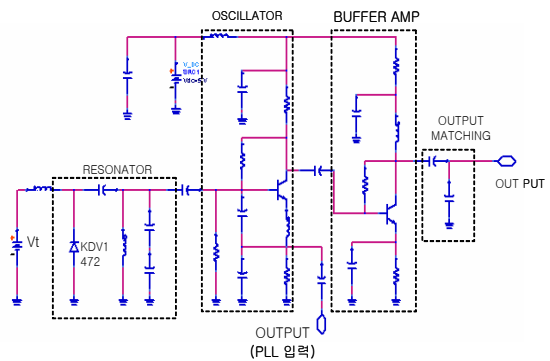


그림 12. 전압제어 발진기 및 완충 증폭기 구조
Fig. 12. The schematic of VCO and buffer amplifier.

하지만 보통 낮은 출력 전력을 높여 주고 부하변동을 줄여 주는 완충 증폭기 회로와 발진기 출력단에 함께 설계를 한다.

발진부는 LNA에서 사용한 트랜지스터를 이용하였으며, 전압 분배 바이어스 회로와 콜피츠 구조로 구성하였다. 공진부는 Q 값이 높은 코일 인덕터와 캐패시터 그리고 주파수를 가변하기 위해 NEC사의 KDV 1472B 바랙터 다이오드를 사용하여 설계하였다. 또한 위상 잡음에 의해서 발진 신호의 스펙트럼 폭이 넓어져 다른 신호와의 간섭을 발생시키기 때문에 이에 대해서도 고려하여 설계하였다[5].

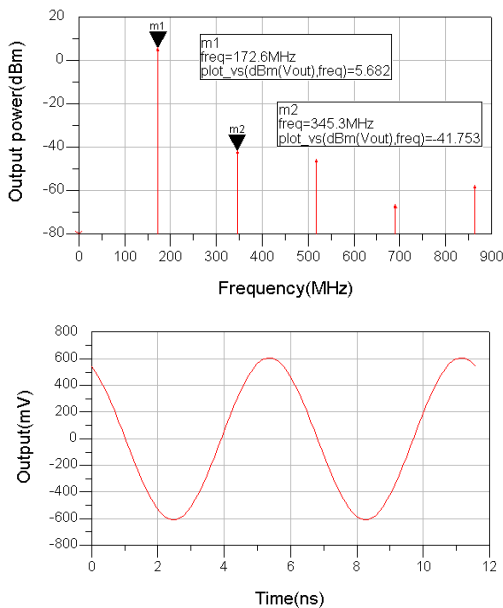


그림 13. 발진주파수 모의실험 결과
Fig. 13. Simulation result of oscillation frequency.

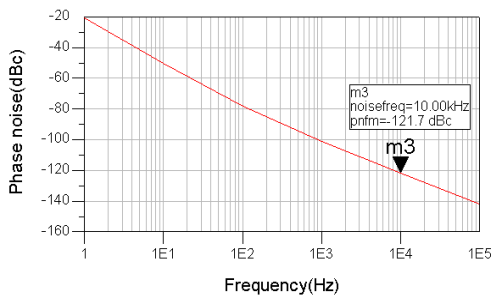


그림 14. 발진기의 위상 잡음
Fig. 14. Phase noise of oscillator.

이 때 VCO 출력 주파수는 163.075 ~ 182.075 MHz이며 그림 13과 같이 중심주파수 출력 전력은

혼합기에서 필요한 최적 출력인 5dBm과 40dBc이상 고조파 억압 특성을 보여 주고 있다. 그림 14는 발진기의 성능을 나타내는 지표중의 하나인 트랜지스터의 열잡음이나 1/f 노이즈로 인한 위상잡음으로 10KHz 오프셋 주파수에서 -121.7dBc로 양호한 성능을 보였다.

5) 중간 증폭기(IF AMP)

중간 증폭기는 LNA와 동일한 바이어스 구조로 설계하였으며 필요한 이득을 얻기 위하여 최적의 매칭을 하였다.

6) 복조 회로

원래 신호를 복원하기 위해 사용한 복조 회로에는 최소 -92 dBm 신호까지 복원 할 수 있고, 두 번째 중간 주파수(455 KHz)로 변환이 가능한 TOKO사의 TK10931을 이용하여 설계하였다. 2차 국부 발진기로는 44.8450 MHz의 수정 발진기를 이용하였으며, 두 번째 혼합기 출력단에는 하모닉 성분을 제거하기 위해 여파기를 사용하였다.

7) 자동이득제어기(AGC)

자동이득제어기는 수신 전파의 강약에 관계 없이 저주파 출력 레벨을 일정하게 맞춰 주도록 하는 회로로 복조용 IC의 RF_AGC단에서 나오는 레벨을 KEC사의 KIA358F를 이용하여 비교한 후 BPF 앞단과 LNA 앞단 그리고 중간 증폭기 앞단에 연결된 KEC사의 KTC3875 트랜지스터의 베이스단에 인가하여 제어 하도록 설계하였다.

8) 오디오 증폭기(AUDIO AMP)

오디오 증폭기는 ST(SGS_THOMSON)사의 TDA2003 트랜지스터를 이용하여 설계하였으며, 가변 저항을 삽입하여 오디오 신호의 증폭도를 가변할 수 있도록 하였다.

이 외의 주요 부분으로 AC전압을 알맞은 DC전압으로 전환 및 공급해 주는 전원 공급부가 있으며, 주파수를 선택 해주는 PLL 회로와 고장 진단 회로, 보호회로, 외부 interface 회로, 표시 회로 등을 제어하는 제어부를 설계하였다.

그림 15는 수신기의 주요 기능을 담당하는 수신부의 실물이며, 그림 16은 모든 모듈이 장착된 수신기 실물이다.

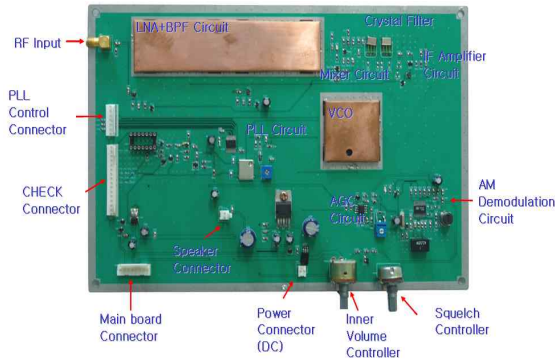


그림 15. 제작된 수신기 메인 보드
Fig. 15. Fabricated main board of receiver.

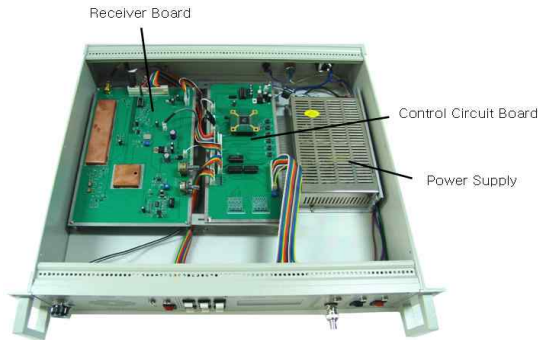


그림 16. 제작된 수신기
Fig. 16. Fabricated receiver.

2-3 측정 결과

그림 17에 본 논문에서 설계 제작한 항공관제용 VHF 수신기에 입력 레벨을 -85 dBm과 오디오 신호 1 KHz 를 30% 변조 상태로 인가하여 복원된 출력의 파형을 나타내었다.

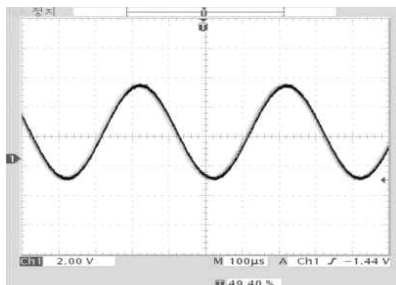


그림 17. 제작된 수신기 오디오 출력 파형
Fig. 17. Audio output waveform of fabricated receiver.

제작된 수신기는 상용 계측기(HP 89217)를 이용하여 측정 하였으며, 감도 측정시 오디오 신호 1 KHz를 30% 변조한 신호를 수신기 입력단에 인가하여 입력 주파수 117.975 ~ 136.975 MHz 대역에서 SINAD(Signal, Noise And Distortion)가 모두 10 dB인 지점을 보았으며, 이때 입력 레벨이 모두 -113 dBm이므로 상용 관제용 무선 수신기 보다 더 미약한 전파를 수신 할 수 있는 성능을 보였다.

표 1. 측정치 결과

Table 1. The measured results.

측정 항목	단위	측정결과
Frequency (Operating Frequency)	MHz	126.000 (117.975~136.975)
1st IF	MHz	45.1
Channel spacing	KHz	12.5/ 25
Sensitivity (10dB SINAD at 1KHz, 30% MOD)	dBm	-113
Frequency tolerancy (5minutes after switch on)	±Hz	10
Distortion (at -45dBm, 80% MOD)	%	2.2
HUM & Noise (at -45dBm, 80% MOD)	dB	52
Sizer	inch	19

표 1은 측정 결과를 정량적으로 나타낸 것으로 모든 항목이 상용되고 있는 여러 항공관제용 무선 수신기의 성능과 유사하거나, 우수함을 알 수 있었다.

III. 결 론

본 논문에서는 항공관제용 VHF 무선 수신기 설계 제작에 관하여 연구하였다. 연구된 무선 수신기는 국제적으로 상용되고 있는 외국 유명 제조사(PAE, JORTRON, MOTOROLA, TOSHIBA)의 제품과 비교하여 볼 때, 대부분 성능이 비슷하거나, 보다 우수하였다. 따라서 추후 상품성에 관한 보강 연구가 진행된다면 국제 수준의 제품이 완성되리라 판단된다[6]-[8].

본 연구를 통하여 항공관제용 주파수 대역의 무선 시스템 설계 및 제작 기술이 국내에 확보되었으며, 항공 선진국으로 도약할 수 있는 발판을 마련하였다고 판단된다.

또한 국제민간항공기구(ICAO)가 권고하는 미래 항행 시스템의 통신 분야뿐만 아니라 항법분야에 사용되는 통신기, 감시(surveillance)분야에 사용되는 레이더 및 ADS-B 통신기의 국내 개발에 동기 부여 및 국산화 연구에 활용 될 수 있다고 판단된다 [9],[10].

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지원 "건설기술기반구축사업"으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 인하대학교, 한국공항공단, VHF 데이터 링크 운용 평가 및 국내 구축 방안, 1995.
- [2] F. M. Gardner, *Phase-lock Techniques*, 2nd ed, New York: John Wiley, 1979.
- [3] International Civil Aviation Organization, Aeronautical telecommunications annex 10, July 1996.
- [4] 인하대학교, 상황감시 및 관제데이터통신 시스템 평가 및 활용방안에 관한 연구, 2001.
- [5] 박옥기, 강석엽, 박효달, "능동소자의 접합 커패시턴스를 이용한 VCO 설계에 관한 연구," *한국항공학회 학술대회발표*, pp 152-155, 2003.
- [6] Park Air Electronics, 5000M series VHF and UHF RX/TX technical handbook, 1996.
- [7] Motorola Inc, Operator's manual for the motorola CM-400UR and CM400VR radio receivers, 1985.
- [8] Toshiba Inc, Operating and maintenance Instruction manual for VHF/UHF radio set, 1985.
- [9] 인하대학교, 자동항행감시시스템(ADS) 연구, 1998.
- [10] 건설교통부, 한국공항공단, 위성항행시스템(CNS/ATM), 1995.

강 석 엽 (姜錫燁)



1997년 2월: 인천대학교 전자공학과 공학사
 1999년 2월: 인하대학교 전자공학과 공학석사
 2005년 8월: 인하대학교 전자공학과 공학박사
 2001년 5월~현재: (주)아이엔텍

대표이사

관심분야: 초고주파 회로 설계, MMIC 설계, 무선통신 시스템 설계, 필터 설계, 안테나 설계

박 옥 기 (朴昱基)



2002년 2월: 상주대학교 전자전기공학과 공학사
 2004년 2월: 인하대학교 전자공학과 공학석사
 2004년 2월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정

관심분야: 무선통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, RFIC 설계, 안테나 설계

고 민 호 (高敏琥)



1995년 2월: 여수대학교 전자통신공학과 공학사
 1997년 2월: 인하대학교 전자공학과 공학석사
 2003년~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정

관심분야: 무선통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, RFIC설계, 안테나 설계

김 용 균 (金龍均)



2004년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 공학사
 2006년 2월: 인하대학교 전자공학과 공학석사
 관심분야: 항공통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, 안테나 설계

송 병 진 (宋炳辰)



2005년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학사

2005년~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : RF 전력증폭기, 선형화 회로

박 효 달 (朴孝達)



1978년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학사

1987년 2월 : (불)국립항공우주대학 전자공학과 공학박사

1992년~현재 : 인하대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 항공통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, 전자장 이론, 안테나공학