

항공관제용 VHF대역 송신기 설계 및 구현에 관한 연구

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

박욱기*, 강석엽**, 박효달*

Wook-Ki Park*, Suk-Youb Kang** and Hyo-Dal Park*

요 약

본 논문에서는 항공관제용 VHF대역 무선 송신기 설계 제작에 관하여 연구하였다. 연구된 무선 송신기의 기본적인 성능은 기존 상용화된 관제용 무선 송신기의 사양을 만족하도록 설계 제작하였으며, 전력 증폭부의 교체만으로 출력 전력 25 W와 50 W가 모두 가능하고 AM 변조로 음성을 전송하는 것을 기본으로 한다. 본 논문에서 연구된 항공관제용 무선 송신기는 크게 4개의 모듈 즉, 전원부, 제어부, 저출력 송신부, 전력 증폭부로 구성되어 있으며, 전력 증폭부를 장착하지 않으면 1 W급 송신기로 동작하게 설계되었다. 연구된 항공관제용 무선 송신기는 CNS/ATM의 기본 요소로 사용되기에 충분한 시스템이라고 판단된다.

Abstract

In this paper, we designed and fabricated the VHF wireless transmitter for air traffic control. Fundamental performance of the investigated wireless transmitter is designed and fabricated to satisfy existing commercial wireless transmitter specification for air traffic control. 25 W and 50 W of output power can be generated by changing the power amplification part only. It is based on transmitting voice communication using AM modulation. Investigated wireless transmitter for air traffic control consists of four module parts: power supply, control, low power transmission and power amplification. We designed 1W transmitter to operate without power amplification part. It can be used properly in a basic component of CNS/ATM.

Key words : 항공관제용, VHF, Transmitter, Wireless

I. 서 론

항공관제용 VHF, UHF 송수신기는 우리나라에 항공기가 도입된 1946년 이래 지금까지 사용된 시스템이며, 항공기가 존재하는 한 계속 사용될 시스템이다. 국내의 전자, 정보통신 기술은 해를 거듭할수록 발전하여 고주파 분야 등 일부 분야에서는

세계 최고를 자랑하고 있다. 그러나 항공관제용 VHF, UHF 송수신기는 고주파 분야에 속하면서도 항공기와 관련된 장비라는 이유로 국내 개발을 위한 연구 실적이 부진한 편이다.

또한 2000년대는 항공우주 시대로 전 세계가 일일 생활권으로 묶여 있으며, 초음속기가 태동한 미래에는 한나절 생활권으로 묶일 것이며, 국제민간

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

** (주)아이엔텍(INTECH. Co. Ltd.)

· 제1저자 (First Author) : 박욱기

· 접수일자 : 2005년 10월 17일

항공기구(ICAO)에서는 미래항행시스템(CNS/ATM)에 VHF 데이터 통신망을 포함시켜 각국에 이와 같은 시스템 개발을 권장하고 있다[1],[2],[3],[4].

국내에서는 1980년대 이후 급속히 무선통신 분야가 발전하여 다양한 방식의 장비가 제품화되어 국제 경쟁력을 갖고 전 세계 시장을 개척해 나가고 있는 실정이나, 항공관제용 장비는 한정된 시장과 고도의 신뢰성을 요구하는 특수한 장비이므로 지금까지 이 분야를 연구 개발하려는 시도가 많지 않았다.

본 논문에서는 이와 같이 연구가 부진했던 항공통신용 무선 송신기 설계와 제작에 관하여 연구하였으며, 이는 관련 항공 통신용 장비 개발에 기반 기술이 되리라 판단된다.

본 논문의 2장에서는 항공관제 통신 장비에서 사용하는 변조 방식인 AM 변조 이론에 관하여 논하고 3장에서는 이를 기본으로 설계 제작에 관하여 논하였으며 마지막으로 4장에서는 결론을 맺음 하였다.

II. 이 론

2-1 진폭 변조(AM : Amplitude Modulation)

항공관제용 VHF, UHF 송수신기는 AM방식을 채택하고 있으며, 이에 관계되는 이론은 다음과 같다[5][6].

통신에 있어서 변조의 의미는 낮은 주파수의 정보 신호로 높은 주파수 반송파의 파라미터를 조절하는 것이다. 안테나를 통하여 효율적으로 전파하기 위해서는 전송하려는 신호의 파장과 같은 정도의 크기를 갖는 안테나가 필요하다. 식(1)과 같이 전기파의 주파수 f 와 파장 λ 는 위상 속도 V_p 와 관계가 있다.

$$f\lambda = V_p \quad (1)$$

대부분의 저주파 정보 신호는 수 KHz정도의 주파수를 갖는다. 전자파는 자유 공간에서 빛의 속도로 전달되므로 파장은 300 Km이며, 대략 188마일

이 된다. 이러한 크기의 안테나는 실용성이 없다.

저주파 신호를 사용하여 높은 주파수(짧은 파장) 신호인 반송파를 변조하여 전파하면 이러한 문제를 해결 할 수 있다. 반송파는 항상 정현파이며 다음 식으로 표현된다.

$$e_c = E_{c_{max}} \sin(\omega_c t + \Theta) \quad (2)$$

변조해야 할 파라미터는 진폭 변조에서는 $E_{c_{max}}$ 이고, 주파수 변조에서는 f_c (또는 $\omega_c = 2\pi f_c$) 이고, 위상 변조에서는 θ 이다.

변조하는 저주파 신호는 사인 혹은 코사인 파로 가정하며 다른 언급이 없다면 변조하는 신호는

$$e_m = E_{m_{max}} \sin \omega_m t \quad (3)$$

로 가정하며, 여기서 $\omega_m = 2\pi f_m$ 이다.

반송파가 진폭 변조되면 반송파의 전압 진폭이 변조하는 전압에 따라 변하여

$$e = (E_{c_{max}} + e_m) \sin \omega_c t \quad (4)$$

이 된다. 여기서 e 는 변조된 신호의 순간 전압이고, $E_{c_{max}}$ 는 변조되지 않았을 때 반송파 전압의 피크 값이고, e_m 은 변조하는 신호의 순간 전압이다.

한 주기 동안의 변조된 신호를 그림 1에 나타내었다.

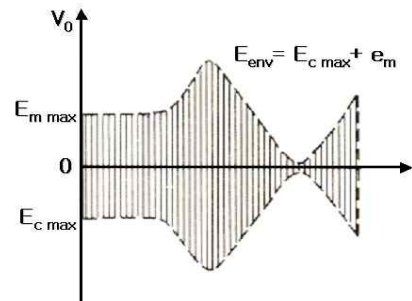


그림 1. 진폭 변조 신호의 파형

Fig. 1. Waveform of amplitude modulation signal.

반송파와 변조하는 신호는 모두 정현파로 가정하였다. 반송파의 피크 값들은 포락선

$$e_{env} = E_{c_{max}} + e_m \quad (5)$$

을 형성하며 여기서 e_{env} 는 포락선 파형의 순간 값이다.

식 (3)의 e_m 을 식 (5)에, 식 (5)의 e_{env} 를 식 (4)에 대입하면 변조된 신호 전압은

$$\begin{aligned} e &= e_{env} \sin \omega_c t \\ &= (E_{c_{max}} + E_{m_{max}} \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \end{aligned} \quad (6)$$

이 된다.

변조된 정도를 나타내는 변조지수 m 은

$$m = \frac{E_{m_{max}}}{E_{c_{max}}} \quad (7)$$

로 정의된다. 식 (6)을 m 으로 사용하여 다시 쓰면

$$e = E_{c_{max}} (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (8)$$

이 된다. 반송파의 진폭을 1V로 가정해도 일반성을 잃지 않는다.

이때 식 (8)은

$$e = (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (9)$$

이 된다.

식 (9)를 세 가지의 m 값에 대하여 그림 2에 나타내었다. m 이 1보다 커지면 포락선의 안쪽 피크가 잘라지며, 이것은 변조 회로가 차단되어 반송파가 없어지기 때문이다. 이 때 변조 신호가 왜곡되며, 이러한 왜곡은 측대파 스플래터라는 방해를 유발시킨다.

변조 지수 m 의 최소값은 0 ($E_{m_{max}} = 0$)이다.

따라서 m 의 범위는 $0 \leq m \leq 1$ 로 표시할 수 있다.

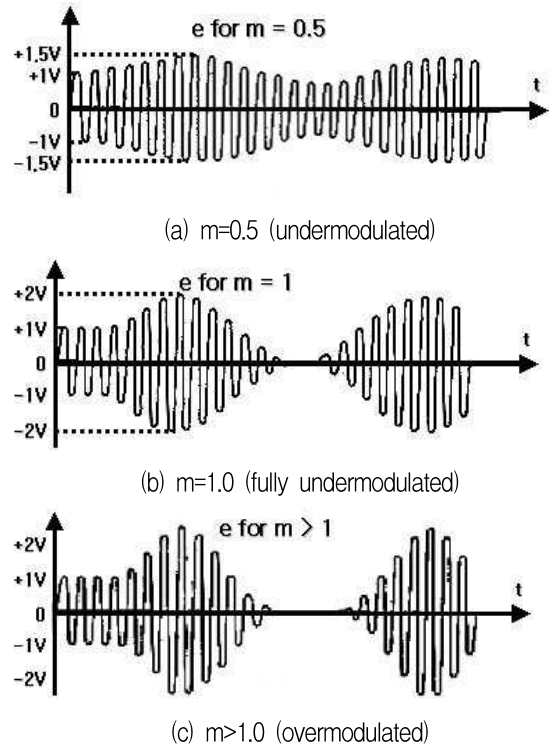


그림 2. 여러 가지 변조지수 m 에 대한 출력 전압 파형
Fig. 2. Output voltage waveform by varying modulation index.

스펙트럼은 사인과 코사인성분의 진폭 그리고 주파수를 나타낸다. 식 (9)의 진폭 변조된 파도 사인은 코사인 성분으로 분석할 수 있다.

(10)

$$\begin{aligned} e &= (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \\ &= \sin \omega_c t + m \sin \omega_m t \sin \omega_c t \\ &= \sin \omega_c t + \frac{m}{2} [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] \end{aligned}$$

식 (10)은 세 부분으로 되어 있다. 이것을 그림 3(a)와 같이 직렬 연결된 세 개의 분리된 정현파 발생기로 생각할 수 있다. 우변의 첫 번째 항은 진폭이 1V이고 주파수가 f_c ($\omega_c = 2\pi f_c$)인 반송파이다. 두 번째 항은 진폭이 $m/2$ 이고 주파수가 $\omega_c - \omega_m = 2\pi(f_c - f_m)$ 인 코사인파이다. 이 주파수를 하측대역 주파수라 하며, 세 번째 항은 진

폭이 $m/2$ 이고, 주파수가 $f_c + f_m$ 인 코사인 파이다. 이 주파수를 상측대역 주파수라 한다. 그림 3(b)는 진폭 변조된 파의 스펙트럼이다. 이것은 $E_{c_{max}}$ 가 1V인 경우인데, $E_{c_{max}}$ 가 다른 값을 가지면 스펙트럼 화살표의 높이가 달라진다.

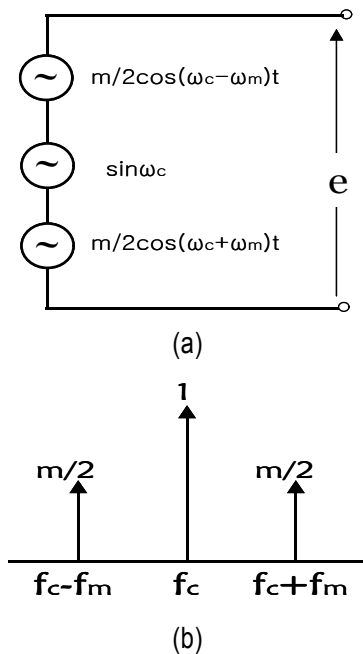


그림 3. (a) 변조된 파의 등가회로
(b) 100% 변조된 파형의 스펙트럼
Fig. 3. (a) Equivalent circuit of modulated wave.
(b) Spectrum of 100% modulated waveform.

오실로스코프를 사용하여 modulation depth를 직접 측정할 수 있다. 더 좋은 방법으로는 사다리꼴 방법이 있다. 이것은 변조된 파를 오실로스코프의 수직 편향회로에 인가하고, 변조하는 신호를 수평 편향회로에 인가하는 방법이다. 그 결과 그림 4(c)와 같은 패턴이 나타난다. 여기서서는 정현파 변조 전압을 가정하였다. 변조파가 A에 도달할 때까지 오실로스코프에는 A와 A'사이의 수직선이 나타난다. 변조 전압이 B로 되면 수직선의 길이가 증가하여 B-B'가 된다. 변조 전압이 C로 감소하면 수직선의 길이가 감소하여 C-C'로 된다.

그림 4(b)와 그림 4(c)를 비교하면

$$\begin{aligned} L_1 &= 2(E_{c_{max}} + E_{m_{max}}) \\ L_2 &= 2(E_{c_{max}} - E_{m_{max}}) \end{aligned} \quad (11)$$

이 된다. 따라서

$$\begin{aligned} \frac{L_1}{L_2} &= \frac{E_{c_{max}} + E_{m_{max}}}{E_{c_{max}} - E_{m_{max}}} \quad (12) \\ \frac{L_1}{L_2} &= \frac{1+m}{1-m} \end{aligned}$$

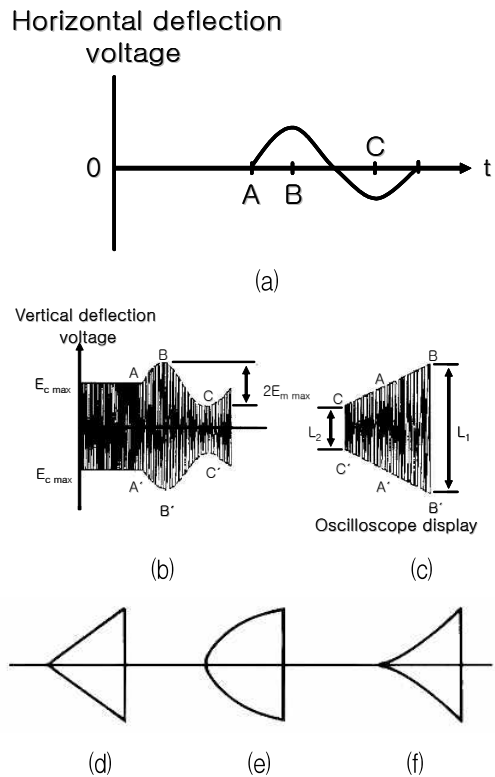


그림 4. 변조의 사다리꼴 표시. (a) 수평 입력에 가해진 정현파 변조신호, (b) 수직 입력에 가해진 변조된 반송파, (c) 사다리꼴 표시, (d) overmodulation을 나타내는 패턴, (e)와 (f)는 포락선 왜곡을 나타내는 패턴

Fig. 4. Trapezoid expression for modulation. (a) A sinusoidal modulation signal forced to horizontal input, (b) A carrier modulation signal forced to vertical input, (c) A trapezoid expression, (d) The pattern for figure of overmodulation, (e) and (f) are the patterns representing an envelope distortion.

이며, 여기서

$$m = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} \quad (13)$$

오실로스코프의 수평 편향은 수직 편향의 피크(변조 포락선)에 동기 되므로, 정현파가 아닌 다른 변조전압에 대해서도 사다리꼴 패턴을 얻을 수 있다. 만약 과변조 되면 그림 4(d)와 같이 꼬리가 달린 삼각형이 된다. 이 조건의 시작이 민감하게 나타나므로, 이것은 변조 조건의 좋은 지표가 된다. 또한, 변조 과정에서의 왜곡은 그림 4(e)와 (f)처럼 사다리꼴의 왜곡으로 나타난다.

III. 송신기 설계 및 제작

3-1 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[7],[8],[9].

설계 제작하려는 송신기의 기본 목표 사양은 다음과 같다.

- 주파수 범위 : 117.975 - 136.975 MHz
- 채널간격 : 12.5 KHz, 25 KHz, 1 MHz
- 주파수 오차 : 1.5 ppm 이하, -20°~+55°
- 변조모드 : A3E, AM 음성
- 사용전원 : AC 120~250 V / DC 27V
- 장비크기 : 19인치
- 반송파 출력 : 25 / 50 W
- 음성변조특성 : 300 Hz ~ 3.4 KHz
- 변조도 : M=0.95

3-2 설계 및 제작

그림 5는 설계 제작된 VHF 항공관제용 무선 송신기의 구성도이다. 이는 크게 4개의 모듈 즉, 전원부, 제어부, 저출력 송신부, 전력 증폭부로 구성되어 있으며, 그 외에 LPF(Low Pass Filter), 정면 패널부, 보호 회로부 및 검출 회로부 등으로 구성되어 있다.

주된 기능을 수행하는 저출력 송신부는 반송파의 주파수를 선택해주는 주파수 Synthesizer 그리고 반송파를 발생 시켜 주는 전압 제어 발진기, 버

퍼 증폭기, 반송파를 적당한 크기로 증폭시켜 주는 드라이브 증폭기와 초단 변조를 걸어 주기 위한 증폭부로 구성되어 있다. 전력 증폭부는 3단으로 설계하였으나 종단만을 사용하고 있으며, 추후에 전력을 키우거나 다른 기종의 송신기의 전력증폭기로 사용할 때는 3단을 모두 사용할 수 있게 설계하였다. 최종단에 사용한 트랜지스터는 출력 전력을 높이기 위해 Push-Pull방식으로 증폭기를 설계하였다. 또한 변조를 충분히 걸기 위하여 오디오 증폭기를 사용 하였으며 이 오디오 신호는 전력 증폭기 첫 제단과 둘째단 드레인에 연결하였으며 최종 출력 전력 증폭기단에는 오디오 신호 레벨이 낮아 게이트단에 연결하였다. 전력 증폭부에는 열에 의한 성능 저하와 수명 단축을 고려하여 온도 제어 회로와 방열판 및 팬을 설치하여 자동으로 방열에 대응하도록 설계하였다.

다음은 주요부의 간단한 동작과 기능에 대하여 설명하였다.

3-2-1 Power Supply

정격 입력 전압은 AC 220/110 및 DC 27V로 전원을 수동 및 자동으로 선택이 가능하도록 구성하였다.

3-2-2 Power Amplifier(25/50W)

전력 증폭기(PA)는 송신기의 전력 증폭을 제공하며, 안정된 변조를 위하여 전력 증폭기단에 변조를 걸고 있다. 그리고 냉각을 위해 PA 모듈에 방열판과 팬이 부착되어 있으며, 팬의 자동 동작을 위하여 온도 감지 회로와 이에 따른 팬 제어 회로가 구성되어 있다.

전력 증폭기의 내부 동작 구조는 구동단에서 비롯된 출력이 동축 변압기를 통해서 전력 증폭 단으로 커플링 된다. 전력 증폭기에 대한 입력은 분할되어, push-pull에 연결된 VDMOS로 들어가서 다시 변압기를 통해서 합쳐지게 된다. 이 증폭된 신호는 필터로 통과 되어 안테나와 연결된다.

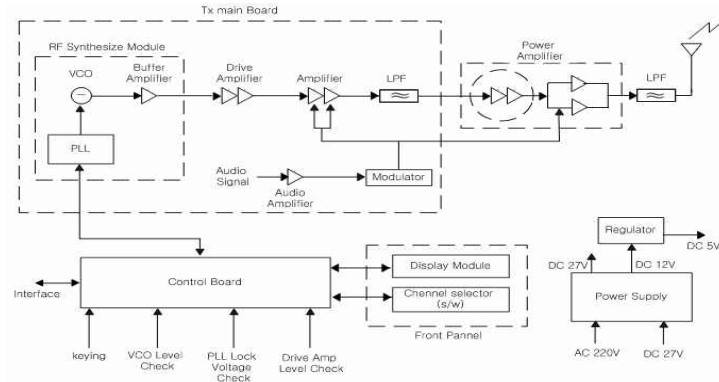


그림 5. 송신기 시스템의 블록도
Fig. 5. Block diagram of transmitter system.

3-2-3 Low Pass Filter

LPF는 전력 증폭기의 구동 단 및 전력 증폭기의 출력에 연결되어 송신기의 운용 범위를 넘는 고주파 성분을 제거한다. LPF는 RF PA의 출력단과 안테나 커넥터 사이에 연결된다.

3-2-4 저출력 송신부 Board

저출력 송신부 Board는 Synthesizer Module, VCO Module, 및 Audio Circuit 이 포함되어 있다. 또한 Block 간의 Level Detect Circuit 및 감시 회로가 구성되어있다.

저출력 송신부의 종단 출력은 0.5~4W정도까지 조절이 가능하도록 설계 하였으며, 이를 전력 증폭기 모듈의 입력 단에 입력하여 25W 또는 50W로 증폭하게 하였다.

3-2-5 오디오 증폭기(Audio Amplifier)

오디오 증폭기는 비평형 가상 접지 마이크 증폭기로 구성되었다. 입력 임피던스는 600ohm 이며, 이득은 사전 설정 분압계에 의해 조정하도록 하였다.

3-2-6 정면 패널

정면 패널은 정면 패널 제어부와 표시부 및 각종 모드 변경 및 주파수 변경 설정 버튼으로 구성되어 있다.

3-2-7 보호 및 검출 회로부

High Temperature - RF PA 의 방열판에 위치한 온도 센서에서 파생된 전압은 비교 회로의 기준 전압과 비교됨으로 인하여 45°이상이 되면 부착된 팬이 자동으로 동작하게 하였다.

RF Power - 제어 루프 기준 전압 및 방향 커플러 순방향 전력 출력 전압은 비교회로에 입력되어 고장상태를 알린다.

VCO Test Port - 후면에 VCO 레벨 및 주파수를 검출할 수 있는 BNC 커넥터가 부착되어있다.

이 외의 각 단에 대한 고장 진단은 필요시 자동으로 하게 되어 있으며 전면 LCD에 진단 상태를 표시하도록 구성하였다.

그림 6은 송신기의 주요 기능을 담당하는 저출력 송신부의 실물이며, 그림 7은 모든 모듈이 장착된 상태의 송신기 실물이다.

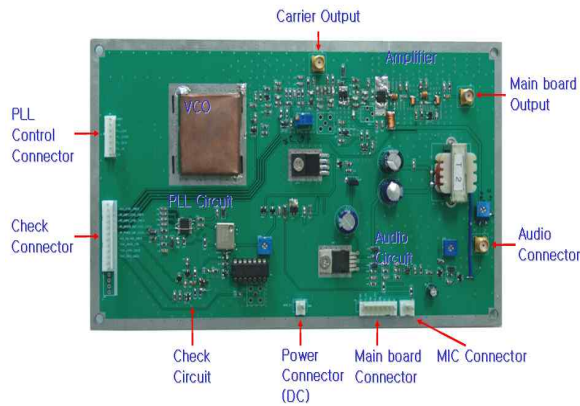


그림 6. 제작된 송신기 메인 보드
Fig. 6. Fabricated transmitter main board.

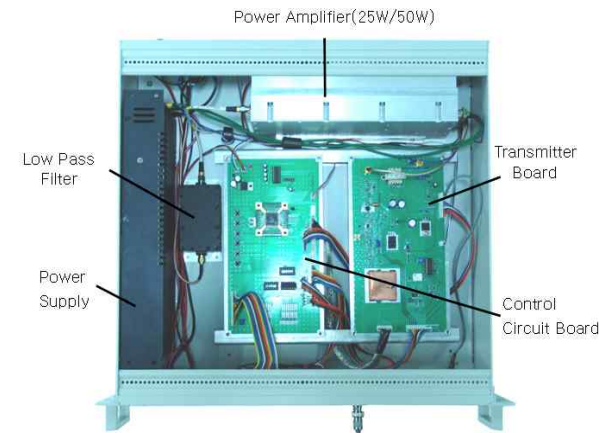
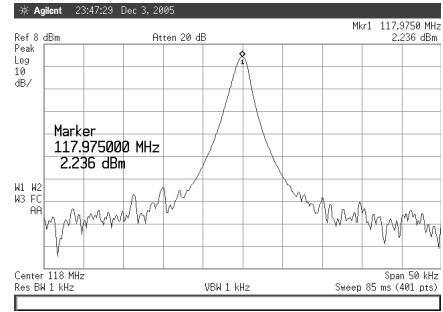


그림 7. 제작된 송신기
Fig. 7. Fabricated transmitter.

3-3 측정 결과

그림 8, 그림 9, 그림 10은 본 논문에서 설계 제작한 항공관제용 VHF 송신기의 측정 결과이다. 각각의 그림에서 (a)는 반송파 출력, (b)는 오디오 신호를 포함한 변조된 신호를 스펙트럼으로 나타냈으며, (c)는 변조된 신호를 오실로스코프를 사용하여 시간축에서 측정한 것이다.

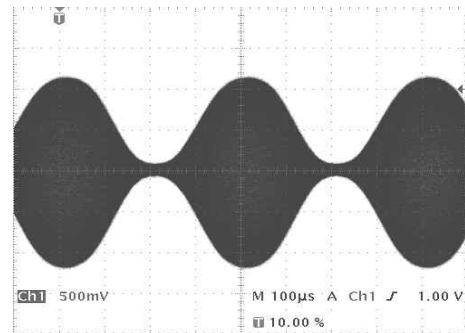
측정시 오디오 신호는 2.5 KHz, 30mV를 인가하였으며, 최종 출력단에 40 dB 감쇄기를 연결하여 중심 주파수 117.975 MHz, 126.000 MHz, 136.975 MHz에서 측정하였다.



(a)

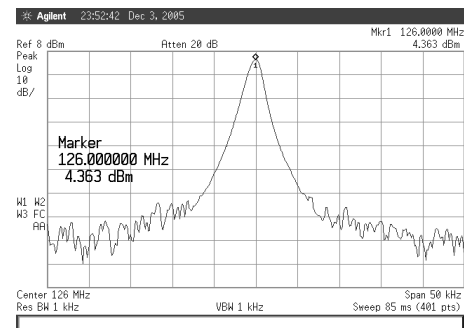


(b)

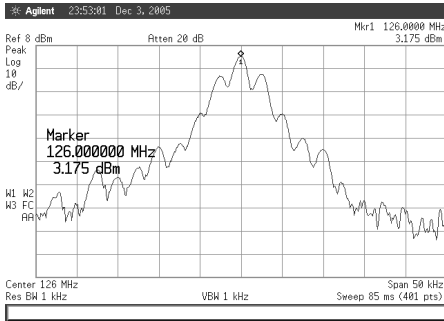


(c)

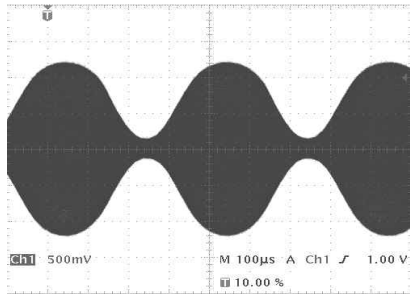
그림 8. 117.975 MHz에서의 변조상태 측정
Fig. 8. Measured modulation shape at 117.975 MHz.



(a)

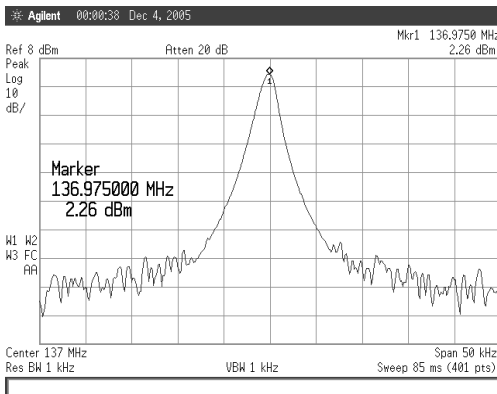


(b)

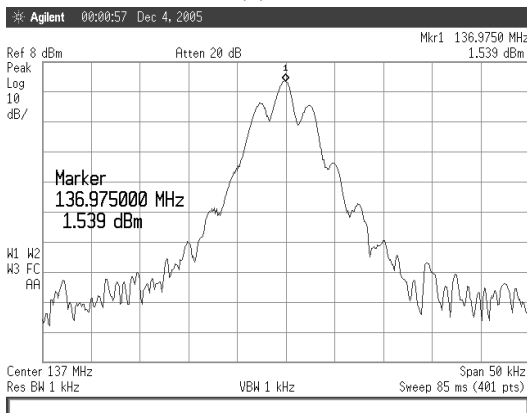


(c)

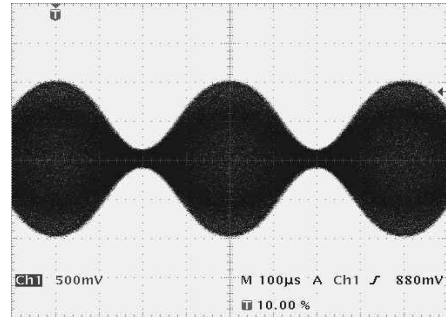
그림 9. 126.000 MHz 에서의 변조상태 측정
Fig. 9. Measured modulation shape at 126.000 MHz.



(a)



(b)



(c)

그림 10. 136.975 MHz 에서의 변조상태 측정
Fig. 10. Measured modulation shape at 136.975 MHz.

측정결과 대역 전체에서 안정적으로 변조가 걸림을 알 수 있었으며, 또한 개발된 송신기에 40 dB 감쇄기를 결합한 상태에서 송신하고 오디오 레벨 까지 변환이 가능한 상용 계측기(HP 89217)로 수신하였을 때 음질 상태가 양호하였다.

표 1. 측정치 결과

Table 1. The measured result.

측정 항목		단 위	측정결과
1. CARRIER POWER (NO MOD)	117.975 MHz	dBm	42.236
	126.000 MHz	dBm	44.363
	136.975 MHz	dBm	42.26
2. FREQUENCY TOLERANCE (5MINUTES AFTER SWITCH ON)		±Hz	-20 -19 -19
3. MIC SENS 1KHz	50% MOD.	mV	9.0
	80% MOD.		13.5
4. MODULATION CAPABLE (1KHz, 50% MOD. + 20dB)		±%	94
5. DISTORTION (AT 1KHz, 80% MOD)		%	2.6
6. HUM & NOISE		dB	48
7. RESPONSE (1KHz, 50% MOD)	300 Hz	dB	-6.7
	2,500 Hz		-3.2
8. AMC RANGE 50 TO 100% MOD.		dB	50
9. SPURIOUS HARMONIC EMISSION		dBc	64.5

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

IV. 결 론

본 논문에서는 항공관제용 VHF 무선 송신기 설계 제작에 관하여 연구하였다. 연구된 무선 송신기는 최초 목표한 국제적으로 상용되고 있는 제품(PAE, JORTRON, MOTOROLA, ITT TOSHIBA)의 성능과 비교하여 대부분 만족하거나 더 우수하였다. 추후 상품성에 관한 연구가 진행된다면 국제 수준의 제품이 완성되리라 판단된다[7],[8],[9]. 본 연구 결과는 현재 동시에 진행 중인 광대역의 항공관제용 UHF 송수신기 개발의 좋은 기초 자료로 활용되고 있다.

본 연구를 통하여 항공통신용 주파수 대역의 상용 시스템 설계 및 제작 기술이 국내에 확보되어 항공 선진국으로 도약할 수 있는 기회가 되었다고 사료된다.

또한 국제민간항공기구(ICAO)가 권고하는 미래 항행 시스템의 통신 분야는 물론이고 항법분야에 사용되는 통신기, 감시(surveillance)분야에 사용되는 레이더 및 ADS-B 통신기의 국내 개발에 동기 부여 및 국산화 연구에 활용 될 수 있다고 사료된다 [10],[11].

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지원 “건설기술기반구축 사업”으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 인하대학교, 한국공항공단, VHF 데이터 링크 운용 평가 및 국내 구축 방안, 1995.
- [2] F. M. Gardner, *Phaselock 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] Simon Hay Kin, *Communication systems*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 97~157, 1994.
- [6] Frenzel, *Communication electronics*. 2nd ed, McGraw-Hill, 1996.
- [7] Park Air Electronics, *5000M series VHF and UHF RX/TX technical handbook*. 1996.
- [8] Motorola Inc, *Operator's manual for the motorola CM-400UR and CM400VR radio receivers*, 1985.
- [9] Toshiba Inc, *Operating and maintenance Instruction manual for VHF/UHF radio set*, 1985.
- [10] 인하대학교, 자동항행감시시스템(ADS) 연구, 1998.
- [11] 건설교통부, 한국공항공단, 위성항행시스템(CNS/ATM), 1995.

박 옥 기 (朴昱基)



2002년 2월 : 상주대학교 전자전기
공학과(공학사)
2004년 2월 : 인하대학교 전자공학
과공학석사)
2004년 2월~현재 : 인하대학교 전
자공학과(박사과정)

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

박 호 달 (朴孝達)



1978년 2월 : 인하대학교 전자공학
과(공학사)
1987년 2월 : (불) 국립항공우주대
학 전자공학과(공학박사)
1992년~현재 : 인하대학교 전자공
학과 교수

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

강 석 업 (姜錫燁)



1997년 2월 : 인천대학교 전자공학
과(공학사)
1999년 2월 : 인하대학교 전자공학
과(공학석사)
2005년 8월 : 인하대학교 전자공학
과(공학박사)

2001년 5월~현재 : (주)아이엔텍 대표이사

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