

---

# 바이어스 안정화 저항을 이용한 이동위성 통신용 광대역 수신단 구현 및 성능 평가에 관한 연구

전중성\*, 김동일\*\*, 배정철\*\*\*

A Study on Fabrication and Performance Evaluation of Wideband Receiver using  
Bias Stabilized Resistor for the Satellite Mobile Communications System

Joong-Sung Jeon, Dong-Il Kim, Jung-Chul Bae

## 요 약

본 논문에서는 이동위성통신용 광대역 수신단을 저잡음증폭기와 고이득증폭단으로 나누어서 구현 및 성능 평가를 하였다. 저잡음증폭기의 설계·제작에는 저잡음 GaAs FET인 ATF-10136과 내부정합된 MMIC인 VNA-25를 이용하였으며, 저잡음증폭기의 입력단 정합회로는 저항 결함회로, 전원회로는 자기 바이어스 회로를 사용하였다. INA-03184를 이용한 고이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 제작하였으며, 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도 안정성을 고려하여 능동 바이어스 회로를 사용하였으며, 스푸리어스를 감쇠시키기 위해서 저잡음증폭기와 고이득증폭단사이에 감쇠 특성이 우수한 대역통과 필터를 사용하였다. 측정 결과, 사용 주파수 대역내에서 55dB 이상의 이득, 50.83dBc의 스푸리어스 특성 및 1.8 : 1 이하의 입·출력 정재파비를 나타내었으며, 특히 1537.5 MHz에서 1 KHz 떨어진 점에서의 C/N비가 43.15 dB/Hz를 나타냄으로써 설계시 목표로 했던 사양을 모두 만족시켰다.

## Abstract

A wideband RF receiver for satellite mobile communications system was fabricated and evaluated of performance in low noise amplifier and high gain amplifier. The low noise amplifier used to the resistive

---

\* 한국해양대학교 전자통신공학과

\*\* 한국해양대학교 전파공학과

\*\*\* 삼양무선공업(주) 부설 선박 자동화 연구소

접수일자 : 1999년 7월 16일

decoupling and self-bias circuits. The low noise amplifier is fabricated with both the RF circuits and the self-bias circuits. Using a INA-03184, the high gain amplifier consists of matched amplifier type. The active bias circuitry can be used to provide temperature stability without requiring the large voltage drop or relatively high-dissipated power needed with a bias stabilized resistor. The bandpass filter was used to reduce a spurious level. As a result, the characteristics of the receiver implemented here show more than 55 dB in gain, 50.83 dBc in a spurious level and less than 1.8 : 1 in input and output voltage standing wave ratio(VSWR), especially the carrier to noise ratio is a 43.15 dB/Hz at a 1 KHz from 1537.5 MHz.

### I. 서론

세계는 정보량의 급증에 따라 대량의 정보를 빠르고 신속하게 처리할 수 있는 통신 방법을 필요로 하고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 위성을 이용하여 정보를 교환하는 위성통신이 급격히 발전하고 있다.

통신위성은 위성이 중계소가 되어 UHF 및 마이크로파를 이용하여 데이터, 영상 등을 포함한 고도의 통신을 고속으로 원거리에 송수신한다. 통신위성은 우주기술 중 상용화가 가장 활발한 분야로서 이를 통해 초기에는 음성위주의 서비스 제공에서 현재에는 데이터, 화상, 인터넷 등의 멀티미디어 서비스를 제공하고 있다.

INMARSAT은 해운 국가를 중심으로 조직된 해사위성통신의 국제기관으로, 1979년에 설립되어 1982년 2월까지 미국의 상용위성 Marisat 시스템을 인계하여 운용을 시작하였다. 1990년부터 1992년 2월까지 4기의 Inmarsat-2가 발사되어 항공위성 통신 업무를 시작하였다. INMARSAT은 우주부분 외에 각국 정부 또는 정부가 지정한 사업체 소유의 해안지구국, 각국의 선박지구국 등으로부터 이루어지는 일원적 시스템이다. 현재 가맹국은 60여 개국 정도이다. 1993년 이동체 통신계획을 계기로 명칭을 Maritime에서 Mobile로 변경하였다.

제공하는 서비스 종류로는 아날로그 방식으로 전화, FAX, TELEX, 고속데이터통신 등의 서비스를 제공하는 표준A형과 디지털 방식으로 TELEX 및 저속데이터서비스를 제공하는 C형, 표준A형을 디지털화한 표준 B형, 음성 및 팩스의 전송이 가능하도록 표준 C형을 개량한 표준M형이 있다[1]~[2].

본 논문에서는 INMARSAT 이동위성통신 수신

주파수인 1525~1545 MHz와 전세계 측위 시스템(Global Positioning System; GPS)의 수신 주파수인 1575.42±1 MHz 대역에서 초고주파용 수신장치로 사용될 수 있는 증폭기를 유전율 4.8, 두께 31 mil 인 FR-4 기판을 사용하여 설계·제작하였으며, 제작된 증폭기는 사용 주파수대역에서 이득 55 dB 이상, 입·출력 정재파비 1.8:1 이하의 증폭특성을 나타냈다.

이러한 측정 결과는 이동위성통신용 수신 시스템의 설계 사양과 잘 일치하는 것으로, 본 연구에서 제작된 수신단은 INMARSAT 이동위성 통신용 수신단에 널리 사용될 수 있을 것이다.

### II. INMARSAT-M형 이동위성 통신용 수신 시스템

INMARSAT-M형 이동위성통신의 수신 시스템에 있어서 파라볼릭접시(Parabolic dish) 안테나에서 듀플렉스로 들어가는 신호전력은 대략 최소 -137.2 dBm 에서 통상 -125 dBm 정도이다.

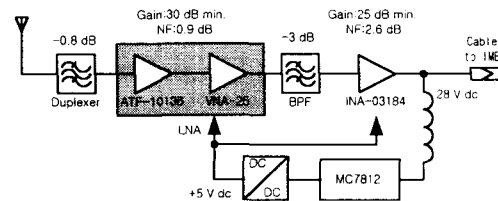


그림 1. 수신단 구성도

Fig. 1. A block diagram of the receiver.

IF단에서 요구하는 입력 신호레벨은 -100 dBm 정도이므로 수신단은 저잡음증폭기와 고이득증폭기로 구성하였으며, 시스템 구성상 이득은 듀플렉

스, 필터 및 케이블(loss:15 dB)를 통과하면서 이득 55 dB이상을 요구하므로 전체 수신 시스템을 그림 1과 같이 설계하였다.

### Ⅲ. 수신단 회로 설계

그림 2는 수신단 회로 및 전원 회로를 나타내며, 수신단의 저잡음증폭기는 2단으로 구성되어 초단은 HP사의 GaAs FET인 ATF-10136, 뒷단은 Mini-circuits사의 VNA-25를 사용하였으며, 수신 스푸리어스를 감쇠시키기 위해 대역통과 여파기를 사용하였고, 수신단 전체의 이득을 증가 시키기 위해 고 이득증폭단은 HP사의 INA-03184를 사용하였다.

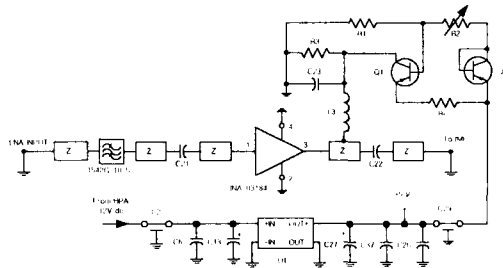


그림 2. 수신단 회로도  
Fig. 2. A circuit of receiver section.

송·수신시 IME로부터 28 V DC의 전원이 인가되므로 송신단의 정전압 트랜지스터(MC7812)를 이용하여 +12 V DC 전원으로 변환한 후 +5 V DC로 바꾸어주는 DC/DC converter를 이용하여 전체 수신단의 전원을 공급한다.

#### (1) 저잡음증폭기 (Low Noise Amplifier)

본 연구에서 저잡음증폭기의 구성은 저잡음증폭단은 HP사의 GaAs FET인 ATF-10136, 이득증폭단은 Mini-Circuits사의 MMIC인 VNA-25를 사용하였으며, 저잡음증폭기의 회로는 그림 3과 같다.

저잡음증폭기는 INMARSAT의 수신주파수인 1525~1545 MHz와 전세계 측위 시스템(Global Positioning System; GPS) 수신주파수 1575.42±1 MHz대에서 초고주파용 수신장치로 사용될 수 있는 대역폭 50 MHz인 저잡음증폭기의 설계 및 제

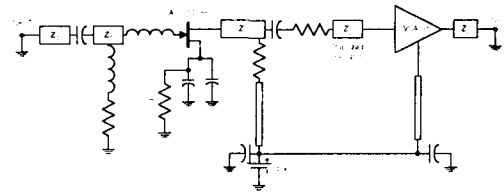


그림 3. 저잡음증폭기의 회로도  
Fig. 3. Circuit of Low Noise Amplifier.

작에 있어서 저잡음증폭단의 입력단 정합은 저항 결합회로를 이용하였으며, 이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 구성하였다. 첫째단의 입력단 정합을 저항 결합회로의 형태로 제작하게 되면 저주파 영역의 신호를 저항을 통해 소모시킴으로써 정합 특성을 향상시키고, FET 자체를 저주파 신호에 동작시키지 않게 하여 잡음 특성을 개선하는 효과를 갖고, 둘째단은 내부 정합된 MMIC를 사용하였으므로 초단 증폭기의 임피던스를 고려하지 않아도 된다는 장점을 갖는다[3]~[4]. 또한 ATF-10136은 사용주파수 대역에서 입력 반사계수가 높아 부분적 불안정을 가지는 문제점이 있다. 그러므로 안정도 K값을 1보다 크게 하기 위하여 드레인(Drain)측에 직렬로 연결된 안정화 저항 10 Ohm을 추가하였다[5].

제작된 저잡음증폭기를 회로망 분석기를 이용하여 S-파라미터를 측정하여 이득과 정합 특성을 분석하였고, 잡음지수 측정기로 측정된 잡음지수를 그림 4에 나타내었다.

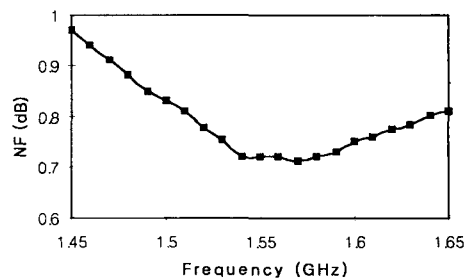


그림 4. 측정된 저잡음증폭기의 잡음지수 특성  
Fig. 4. The measured noise figure characteristics of the LNA.

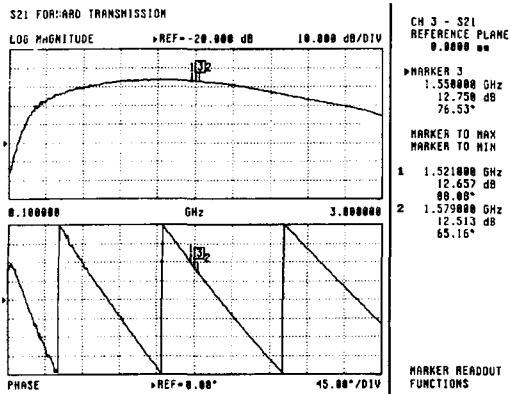


그림 5. 측정된 저잡음증폭기의 이득 및 위상  
Fig. 5. The measured gain and phase of the LNA.

제작된 저잡음증폭기는 1525~1575 MHz에서 32 dB(측정시 20 dB 감쇠기 부가) 이상의 이득과  $\pm 0.5$  dB의 이득 평단도를 나타내었으며, 잡음지수 특성은 사용주파수 대역에서 0.75 dB 이하의 특성을 보였다. 그림 5는 측정된 저잡음증폭기의 이득 및 위상 특성을 나타낸다.

표 1. 수신단 고주파 대역통과 여파기 특성  
Table 1. The high frequency bandpass filter characteristics of receiver.

Item Description	Specification
Passband Insertion Loss	2.39 dB
Passband Ripple	0.32 dB
Passband V.S.W.R	1.4:1
Attenuation	
at 1457.5MHz	57.3 dB
at 1626.5MHz	55.9 dB
at 1430MHz	70.4 dB
at 1654MHz	68.8 dB

(2) 고주파 대역통과 여파기

여파기는 스푸리어스를 감쇠시키는 역할을 하며, 저잡음증폭기에 기인한 영상주파수를 감쇠시키고 저잡음증폭기에 의해 발생하는 2차 고조파를 제거

시킨다. 반면 여파기의 삽입손실에 의한 주파수 혼합기의 2차 역압점을 저하시킬 수 있다. 여파 대역에 따라 국부발진기에서 수신부 안테나로의 역방향 누설전력을 제거할 수도 있다[6].

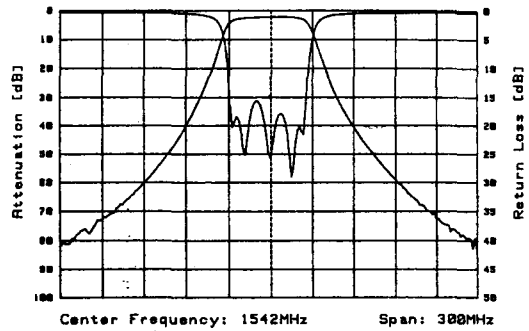


그림 6. 대역통과 여파기의 특성도  
Fig. 6. Bandpass filter characteristics.

고주파 대역통과 여파기의 종류에는 만들어진 재질에 따라 여러 가지 종류가 있는데, 이러한 여러 가지 종류의 대역통과 여파기중 본 연구에서 사용된 대역통과 여파기는 유전체 여파기를 사용하였으며, 유전체 대역통과 여파기를 사용한 이유는 적은 삽입손실과 대역외 감쇠특성이 우수하기 때문이다. 또한 균지연 특성이 우수하므로 사용 대역에서의 위상특성이 선형적으로 우수하다. 설계에 사용한 고주파 대역통과 여파기의 특성은 표 1과 그림 6에 나타내었다.

(3) 고이득증폭단

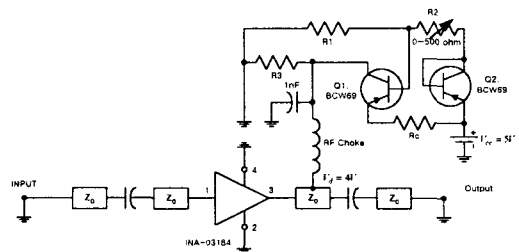


그림 7. INA-03184의 바이어스 회로  
Fig. 7. An active bias circuit of INA-03184.

능동 바이어스(Active bias) 회로는 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도 안정성을 고려하여 그림 7과 같이 설계하였다.

그림 7의 능동 바이어스 회로는 전류원으로 동작하며 PNP 트랜지스터를 사용하였다. 이 회로에서  $R_1$ 과  $R_2$ 는 PNP 트랜지스터의 바이어스 점(Bias point)을 결정하는 저항 분배기(resistive divider)의 역할을 한다.  $R_3$ 는 어떤 과도한 바이어스 전류에 대해서도 Bleed path를 만들고, 또한  $Q_2$ 는 PNP 트랜지스터의 E-B 접합은 온도에 의한 전압 변화를 보상하기 위한 것이다. 일반적으로  $Q_2$ 는 바이어스 트랜지스터와 같은 사양을 갖는 PNP 트랜지스터의 E-B 접합을 사용하며, C-B 접합은 단락하여 사

용한다.  $R_c$ 는 전류  $I_d$ 를 일정하게 유지하는 귀환소자이다. 만약 디바이스 전류가 증가하기 시작한다면  $R_c$  양단의 전압은 증가하고 PNP 트랜지스터의 E-B 접합은 turning off되며 INA-03184에 공급되어지는 바이어스 전압  $V_d$ 는 감소한다. 최적화된 회로의  $R_c$  양단의 전압강하는 0.5~1 V가 되어야 한다.

PNP 트랜지스터는 순방향 쌍접합 바이어스(both junctions forward biased)를 지닌 포화 모드에서 동작하며, 이 트랜지스터의 E-C 접합 양단의 전압 강하는  $V_{CEsat}$ 와 같다. 그러므로  $V_{cc}$ 와  $V_d$  사이에 필요한 전체 전압 차이는 약 1 V 내외이며, 공급전압은 가변저항( $R_2$ )에 의해 조절되며 공급전압을 약 4 V로 하였다.

포화영역에서 동작하는 PNP 바이어스 트랜지스터의 side effect는 바이어스 회로 동작시 약간의 충전시간과 비동작시에 방전시간이 존재하며, 이 방전시간의 크기는 PNP 트랜지스터의 시정수(time constants)에 의해 결정된다[7].

설계된 바이어스 회로의 타당성을 입증하기 위해 Pspice를 사용하여 설계된 회로를 시뮬레이션하였다. 가변저항  $R_2$ 의 변화(5~400  $\Omega$ )에 따른 공급전압의 변화를 시뮬레이션한 결과를 그림 8에 나타내었으며, 그림 8에서 알 수 있듯이 가변저항치의 증가에 따라 공급전압은 증가하는 형태이며, 가변저항치  $R_2$ 가 230  $\Omega$  이상 증가할 경우 바이어스 회로가 포화 됨을 보여준다.

그리고 바이어스 회로의 온도 특성을 확인하기

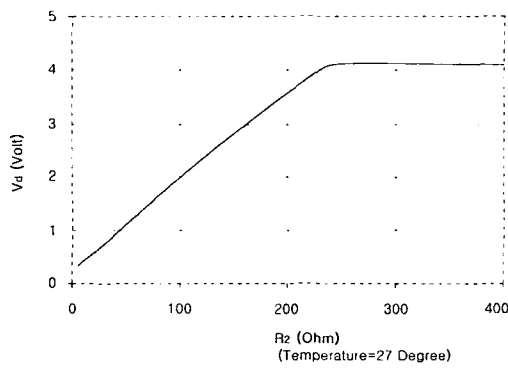


그림 8. 가변저항값에 따른  $V_d$  전압의 변화  
Fig. 8. The variable resistor vs.  $V_d$  voltage.

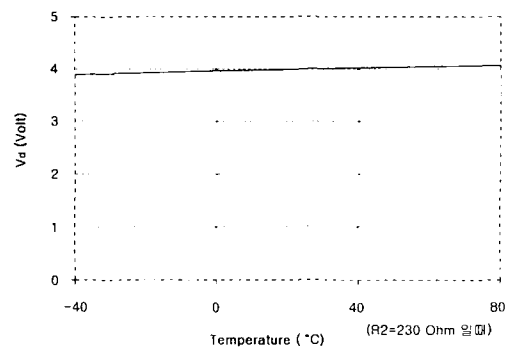


그림 9. 온도변화에 따른  $V_d$  전압의 변화  
Fig. 9. The  $V_d$  voltage over temperature.

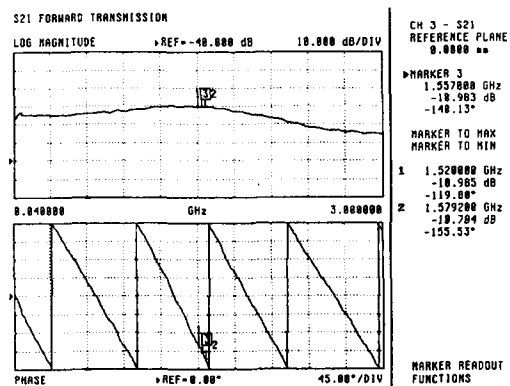
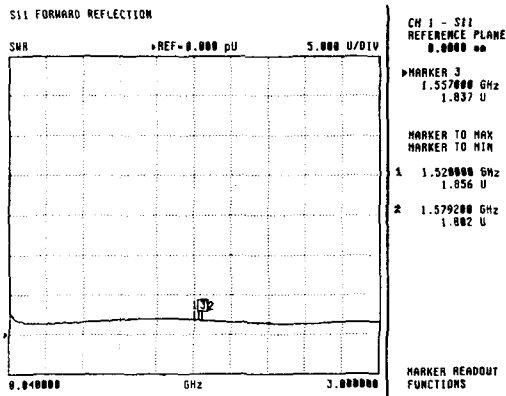


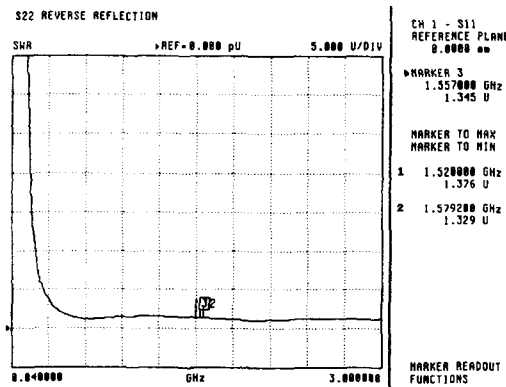
그림 10. 고이득증폭단의 이득 및 위상  
Fig. 10. The gain and phase of amplifier.

위해 온도에 따른 공급전압의 변화를 시뮬레이션 한 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 최저 온도(-40℃)에서 최대온도(80℃)일 때 공급전압은 각각 3.896 V, 4.072 V이며 온도에 따른 공급전압의 편차는 0.176 V로 나타났다.

제작된 고이득증폭기를 Wiltron 360B 회로망 분석기를 이용하여 이득 및 정합특성을 분석하였고, 그림 10에서는 사용주파수 영역에서 29 dB(측정시 40 dB 감쇠기 부가) 이상의 이득과 우수한 위상의 선형성을 보였고, 그림 11은 입출력 정재파비를 나타낸다.



(a) 입력 정재파비  
(a) The input VSWR.



(b) 출력 정재파비  
(b) The output VSWR.

그림 11. 입출력 정재파비  
Fig. 11 The input and output VSWR.

IV. 특성 측정 및 평가

그림 12는 제작된 수신단을 1525~1575 MHz 대역에서 56 dB(입력신호:-60 dBm) 이상의 이득과 ± 0.3 dB의 이득 평단도와 우수한 선형성을 보였다.

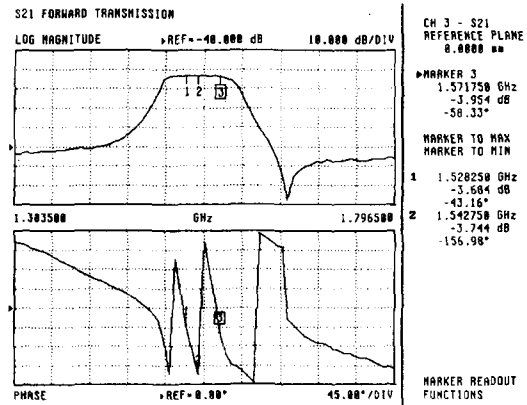


그림 12. 제작된 수신단의 이득 및 위상  
Fig. 12. The measured gain and phase of fabricated receiver.

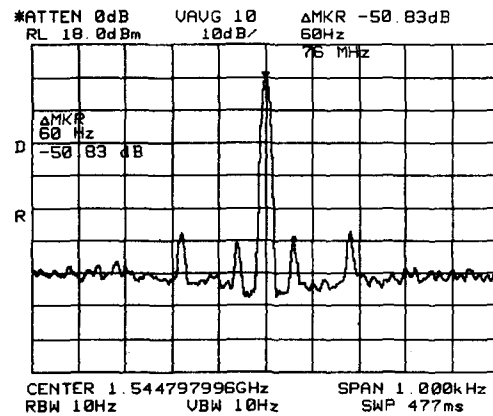


그림 13. 사용주파수 대역내에서 수신단 스퓨리어스 특성  
Fig. 13. A spurious emission of receiver with frequency band.

그림 13는 주파수 1545 MHz에서 신호발생기 (HP-E4431B)를 이용하여 입력신호 레벨을 -80 dBm을 인가하였을 때 스퓨리어스 특성을 측정하

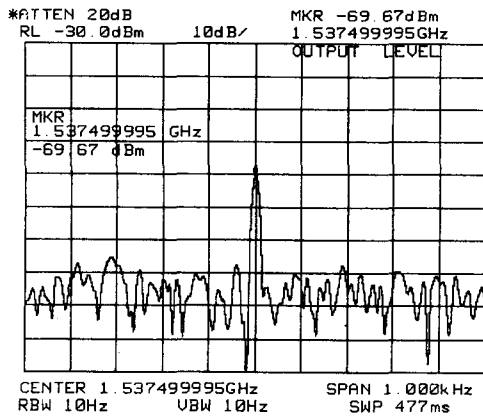


그림 14. 측정된 수신단의 이득 특성  
Fig. 14. The measured gain of the fabricated receiver.

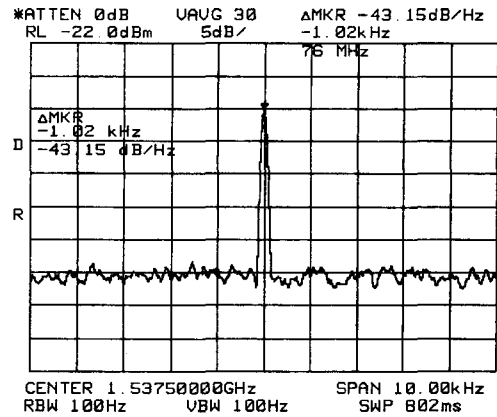


그림 16. 측정된 수신단의 반송파와 잡음지수의 비  
Fig. 16. A carrier to noise ratio of the fabricated receiver.

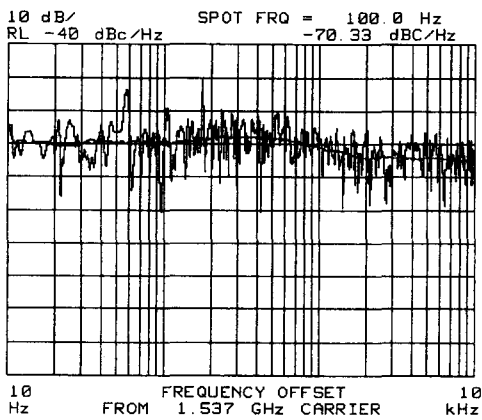


그림 15. 측정된 수신단의 위상 잡음 특성  
Fig. 15. The measured phase noise of fabricated receiver.

기 위하여 스펙트럼 분석기(HP-8560E)를 이용하여 캐리어(Carrier) 주파수대 스퓨리어스(Spurious) 모드비는 50.83 dBc 이상으로 나타났으며, 그림 14는 측정시 케이블 및 Coupler 손실을 제거한 후에 실제 안테나에서 입력되는 신호레벨인 -125 dBm을 인가시켰을 때 55.33 dB의 이득을 얻었다.

그림 15는 중심주파수 1545 MHz에서 -120 dBc의 위상잡음(Phase Noise)을 가지는 신호발생기(Signal Generator)로부터 신호를 인가하여 측정된 위상잡음 특성을 나타내며, 100 Hz offset

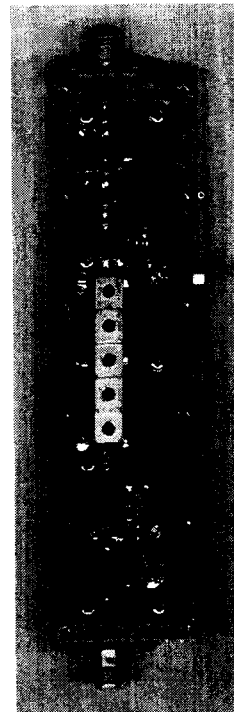


그림 17. 제작된 수신단의 사진  
Fig. 17. The photograph of the fabricated receiver

frequency에서 약 -70.33 dBc/Hz의 위상잡음 특성을 얻었다.

그림 16은 제작된 수신단의 반송파와 잡음지수

의 비를 나타내며, C/N비(Carrier to Noise Ratio)는 문자 그대로 반송파의 신호전력과 잡음전력비를 데시벨로 나타내는 것인데, 위성 수신기내에서 발생하는 잡음전력보다 커야만 한다는 의미이다. 따라서 입력 신호의 세기가 -125 dBm일 때 주파수 1537.5 MHz에서 1 KHz 떨어진 점에서의 C/N비는 43.15 dB/Hz를 나타내었다. 제작된 수신단은 설계사양과 비교해 볼 때 모든 특성을 만족시키며, 특히 우수한 이득과 위상의 선형성을 보였다. 그림 17은 기판 두께 31 mil, 유전율 4.8인 FR-4기판을 사용하여 제작된 수신단의 실물 사진을 보여준다.

### V. 결론

본 연구에서는 INMARSAT 이동위성통신용 수신주파수인 1525~1545 MHz와 전세계 측위 시스템(Global Positioning System; GPS)의 수신주파수인 1575.421 MHz대에서 초고주파용 수신장치로 사용될 수 있는 수신단의 회로설계 및 성능평가를 수행하였다. INA-03184를 이용한 고이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 제작하였다. 바이어스 안정화 저항을 사용하여 회로의 전압강하 및 전력손실을 가능한 줄이고 온도안정성을 높이기 위해 능동 바이어스 회로를 사용하였으며, 스푸리어스를 감쇠시키기 위해서 저잡음증폭기와 고이득 증폭단 사이에 대역통과필터를 사용하였다.

측정 결과, 사용주파수 대역내에서 55 dB 이상의 이득, 50.83 dBc의 스푸리어스 특성 및 1.8:1 이하의 입·출력 정재파비를 나타내었으며, 특히 1537.5 MHz에서 1 KHz 떨어진 점에서의 C/N비가 43.15 dB/Hz를 나타냄으로써 설계시 목표로 했던 사양을 모두 만족시켰다.

### 〈감사의 글〉

본 연구는 항해 통신 위탁연구과제의 연구결과 중 일부분입니다. 그리고 본 연구의 수행 중 도움을 주신 (주) 삼양무선 선박자동화 연구소에 감사 드리는 바입니다.

### 참고문헌

- [1] L. Tetly & D. Calcutt, Understanding GMDSS, Edward Arnold, London, 1994.
- [2] INMARSAT, Inmarsat Maritime Communications Handbook Issue 2. 1988.
- [3] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifier analysis and Design, Prentice-Hill, 1984.
- [4] D.C. Youla, A new theory of broadband matching, IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-11, pp. 30-50, March. 1964.
- [5] 전중성, 김동일, INMARSAT-C형 위성통신단말기의 저잡음 증폭기의 설계 및 제작, 98년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 1, pp. 87-90, 5월, 1998.
- [6] 전중성, 김동일, 계단형 임피던스 공진기를 이용한 INMARSAT-C용 결합선로 필터의 설계 및 구현에 관한 연구, 항해학회 논문지, 제22권, 제 2호, pp. 33-38, 6월, 1998.
- [7] Peter C.L. Yip, High-Frequency Circuit Design and Measurements, pp. 85-86, Chapman & Hill, 1991.



전 중 성(Joong-Sung Jeon)

1989년 2월 대구대학교 물리학  
과(이학사)

1997년 2월 한국해양대학교 대  
학원 전자통신공학과(공학  
석사)

1997년 3월 2~현재 한국해양대학교 대학원 전자통  
신공학과 박사과정

\*관심분야 : 마이크로파 소자 및 회로설계, 전자파  
수치해석 등





김 동 일(Dong-Il Kim)

1975년 2월 한국해양대학교 항해학과(공학사)

1977년 2월 한국해양대학교 대학원 전파공학전공(공학석사)

1984년 3월 일본 동경공대 대학원 전기전자공학과(공학박사)

1975년 3월~1993년 9월 한국해양대학교 전자통신공학과 조교~부교수

1993년 10월~현재 한국해양대학교 전파공학과 교수

\*관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파 흡수체의 개발, EMI/EMC대책 등



배 정 철(Jung-Chul Bae)

1986년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과(공학사)

1993년 8월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)

1996년 8월 한국해양대학교 대

학원 전자통신공학과(공학박사)

1988년 9~현재 삼양무선(주) 부설 선박자동화 연구소 소장

\* 관심분야 : 선박통신 및 해상이동통신 등