
이동위성 통신용 광대역 2단 전력제어 HPA의 구현 및 성능평가에 관한 연구

전중성*, 김동일**, 배정철***

A Study on Fabrication and Performance Evaluation of Wideband 2-Mode HPA for the Satellite Mobile Communications System

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

요 약

본 논문에서는 INMARSAT-M형 송신기에 사용되는 L-BAND(1626.5~1646.5 MHz)용 2단 가변이득 전력 증폭기를 연구 개발하였다. 2단 가변이득 전력증폭기는 구동증폭단과 전력증폭단에 의해 고출력 모드일 때 +42 dBm, 저출력 모드일 때는 +36 dBm의 전력으로 증폭되며, 각각에 대해 상한 +1 dBm과 하한 -2 dBm의 오차를 허용한다. 제작의 간편성 때문에 전체 2단 가변이득 전력증폭기를 크게 구동증폭단과 전력증폭단 두 부분으로 나누어 구현하였으며, 전력증폭부를 구동하기 위한 구동단은 HP사의 MGA-64135와 Motorola사의 MRF-6401을 사용하였으며, 전력증폭단은 ERICSSON사의 PTE-10114와 PTF-10021을 사용하여 RF부, 온도보상회로 및 출력 조절회로를 함께 집적화 하였다.

이득조절은 구동증폭단의 MGA-64135의 바이어스 전압을 조절하는 방법을 제시 하였으며, 실험 결과와 잘 일치하였다. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기는 20 MHz대역폭 내에서 소신호 이득이 42 dB와 36 dB 이상, 입·출력 정재파비는 1.5:1 이하, 5 dBm의 P_{1dB} , P_{1dB} 출력레벨에서 3 dB Back off 시켰을 때 32.5 dBc의 IM_3 를 얻었다. 1636.5 MHz 주파수에 대해 출력전력은 43 dBm과 37 dBm으로서 설계시 목표로 했던 최대 출력전력 20 Watt를 얻었다.

* 한국해양대학교 전자통신공학과

** 한국해양대학교 전파공학과

*** 삼양무선공업(주) 부설 선박 자동화 연구소

접수일자 : 1999년 7월 16일

Abstract

This paper presents the development of the 2-mode variable gain high power amplifier for a transmitter of INMARSAT-M operating at L-band(1626.5~1646.5 MHz). This SSPA(Solid State Power Amplifier) is amplified 42 dBm in high power mode and 36 dBm in low power mode for INMARSAT-M. The allowable error sets +1 dBm of an upper limit and -2 dBm of a lower limit, respectively. To simplify the fabrication process, the whole system is designed by two parts composed of a driving amplifier and a high power amplifier. The HP's MGA-64135 and Motorola's MRF-6401 are used for driving amplifier, and the ERICSSON's PTE-10114 and PTF-10021 are used the high power amplifier. The SSPA was fabricated by the circuits of RF, temperature compensation and 2-mode gain control circuit in aluminum housing.

The gain control method was proposed by controlling the voltage for the 2-mode. In addition, It has been experimentally verified that the gain is controlled for single tone signal as well as two tone signals.

The realized SSPA has 42 dB and 36 dB for small signal gain within 20 MHz bandwidth, and the VSWR of input and output port is less than 1.5:1. The minimum value of the 1 dB compression point gets 5 dBm for 2-mode variable gain high power amplifier. A typical two tone intermodulation point has 32.5 dBc maximum which is single carrier backed off 3 dB from 1 dB compression point. The maximum output power of 43 dBm was achieved at the 1636.5 MHz. These results reveal a high power of 20 Watt, which was the design target.

I. 서론

위성통신은 통신위성을 중계국으로 한 지구국간의 통신방식으로서 Intelsat 1호(1965년)를 시작으로 처음으로 상업용 위성통신이 시작되었다. 초기에는 대륙간 위성통신을 국제전화 및 TV 중계기 용으로만 사용되었다. 하지만 최근에는 TV 방송, 데이터 전송 및 영상회의 전용회선 등 여러 분야의 통신서비스에 응용되고 있다[1].

INMARSAT-M의 텔렉스 신호는 해안지구국과 선박국사이는 22채널을 다중화한 1.2 kb/s의 시분할 다중(Time Division Multiplexer; TDM) 신호, 선박에서 해안지구국으로는 4.8 kb/s의 시분할 다원 접속(Time Division Multiple Access; TDMA) 신호를 사용하고 있다.

변조방식은 반송파의 위상을 변화시키는 2상 위상변조이다. 양방향에 대한 전송속도의 차는 해안으로부터 선박으로는 다수의 텔렉스 신호를 통합하여 전송할 수 있으나 선박에서 해안으로는 다른 데이터를 시분할처리로 상당한 여유를 갖고 전송할 수 있다.

종합 디지털 통신망(Integrated Services Digital

Network; ISDN)은 지금 새로운 부상 시기에 있는데 디지털 전송계의 매력은 음성, 멀티미디어, 데이터 등을 통합하여 효율이 좋은 패킷 전송을 하는 것이다. INMARSAT는 한정된 주파수대역, 전송도를 유효하게 활용하여 보다 고속으로 대량의 정보 전송을 하는 위성 특유의 통신 시스템을 구축하고 있다[2].

그러므로 INMARSAT-M형 이동위성통신 단말기에 장착되는 2단 가변이득 전력증폭기는 지상의 환경변화에 대하여 그 성능을 충분히 유지하여야 한다. 특히 온도변화가 심할 때 온도에 따른 제품의 신뢰성을 갖게 하는 것은 아주 중요하다[3].

따라서 본 연구에서는 고효율 모드일 때 42 dBm, 저출력 모드일 때 36 dBm의 출력을 갖는 2단 가변이득 전력증폭기는 온도에 대한 안정성을 고려하여 설계·제작하였다. 전력증폭기의 온도변화에 대한 전력이득의 변화는 신호대 잡음비의 증가, 1 dB 압축점(P_{1dB})과 상호변조왜곡 등을 초래하게 된다. 그러므로 온도변화에 대한 전력이득 변화로 발생되는 왜곡의 영향을 방지하기 위해서는 2단 가변이득 전력증폭기의 제작시 우수한 온도특

성을 갖도록 온도 보상회로를 부가하여 사용 주파수 1626.5~1646.5 MHz 대역에서 2단 가변이득 전력증폭기를 유전율 4.8, 두께 31 mil인 FR-4 기판을 사용하여 설계·제작하여야 한다.

II. INMARSAT-M형 이동위성 통신용 송신시스템의 구성

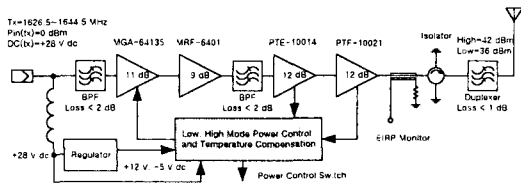


그림 1. 2단 가변이득 전력증폭기의 구성도
Fig. 1. The block diagram of the 2-mode high power amplifier.

INMARSAT-M형 이동위성 통신용 송신시스템에서 실내기기(Internal Mounting Equipment; IME)의 변조부에서 만들어진 송신신호는 변조부 바로 뒤에 연결된 증폭기를 통하여 15 dBm의 전력으로 증폭된 후 동축케이블(Loss:15 dB)을 통해 실외기기(External Mounting Equipment; EME)의 송신부에는 0 dBm의 신호가 입력된다. 이 신호는 구동 증폭단과 전력증폭단에 의해 고출력 모드(High Power Mode)일 때 42 dBm, 저출력 모드(Low Power Mode)일 때는 36 dBm의 전력으로 증폭되며 각각에 대해 상한 +1 dBm과 하한 -2 dBm의 오차를 허용한다. 전력증폭기를 통하여 고전력의 신호를 안테나로 내보낼 때 외부환경의 변화로 인해 부정합이 일어나게 되면 반사전력이 발생하여 전력증폭단의 파손을 가져 오는데 이것을 방지하기 위하여 아이솔레이터(Isolator)를 사용하였으며, 결합선로형 방향성 결합기를 이용한 위상 비반전 증폭기는 출력신호를 모니터링 하기 위해 사용하였다. 송신부의 입력에는 실내기기로부터 동축 케이블을 통해 통상 0 dBm의 신호전력과 +28 V DC 전원이 인가되는 전형적인 듀플렉서 방식이며 전체 송신시스템은 그림 1과 같이 구성하였다.

III. 전력증폭기 설계

증폭기에서 사용되는 반도체 소자인 바이폴라 트랜지스터 및 FET는 비선형성을 갖고 있다. 이러한 반도체 소자는 소신호로 동작시킨 경우에는 비교적 선형성을 가지고 있으나, 증폭기의 출력이 수 100 mW 이상에서는 그 선형성이 급격히 나빠진다. 즉 증폭기가 포화영역으로 가게 됨으로 증폭기의 이득이 줄어들게 된다. 또한 온도가 높은 환경 또는 전력증폭기에서 생기는 온도상승은 증폭기의 이득을 왜곡시킨다[4],[5]. 이러한 이득의 불필요한 왜곡으로 인하여 증폭기의 선형성을 잃게 되는 경우가 많게 된다. 본 연구에서는 인가되는 전력의 크기가 일정하고, 온도가 다른 여러 환경에서 이득이 일정하게 유지되며, 또 인공위성의 위치에 따라서 이득을 가변할 수 있는 가변이득 전력증폭기를 구현하였다.

(1) 구동증폭단의 구성

구동증폭단의 설계에서는 최대의 출력전력을 유지하며, 동시에 이득과 효율을 고려해야 한다. 따라서 고출력에서의 상호변조왜곡을 줄이고, 시분할 다원접속(TDMA)에 있어 위상왜곡(Phase Distortion)을 감소시키기 위해 선형특성이 우수한 소자로 구성하였다. 이에 사용된 소자로는 첫째단은 HP사의 MGA-64135로 이득 12 dB, P_{1dB}가 12 dBm으로서 포화전력이 낮은 수준이어서 전력증폭기가 과부하 되었을 때 전력증폭단을 보호하는 역할을 하지만 출력레벨을 제한하는 단점도 가지고 있다. 둘째단은 Motorola사의 MRF-6401로 8 dB의 이득을 가지고 0.5 Watt의 출력전력을 나타내며, 구동증폭기의 구성도는 그림 2와 같다.

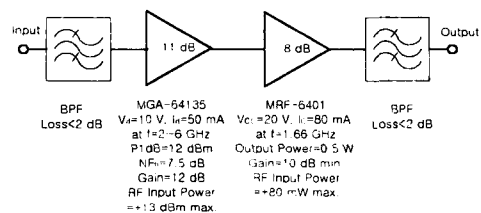


그림 2. 구동증폭단의 구성도
Fig. 2. A block diagram of driving stage.

표 1. 송신단 고주파 대역통과 여파기 특성
Table 1. The bandpass filter characteristics of the transmitter.

Item Description	Specification
Passband Insertion Loss	1.33 dB
Passband Ripple	0.17 dB
Passband VSWR	1.32:1
Attenuation at 1576.5 MHz	20.9 dB
at 1751.5 MHz	31.7 dB

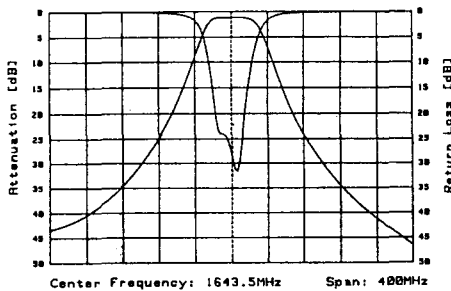


그림 3. 송신단 대역통과 여파기의 특성도
Fig. 3. The bandpass filter characteristics of the transmitter.

송신단 대역통과 여파기는 주파수 혼합기로부터 발생되어지는 스퓨리어스와 구동증폭단에 의해 발생하는 2차 고조파를 제거하기 위한 유전체 여파기로서 표 1과 그림 3에 대역통과 여파기의 특성 및 특성도를 나타내었다.

(2) 구동증폭단의 설계

구동증폭단의 첫째단은 HP(Hewlett Packard)사의 GaAs MMIC인 MGA-64135는 50Ω으로 매칭되어진 이득 블록에서 주파수 2~6 GHz 대역에서 $V_d=10$ V, $I_d=50$ mA일 때 12 dB의 이득을 제공한다[6]. MGA-64135의 입력단에 적절한 전압 V_{gg} 를 인가함으로써 이득조절이 가능하며, 또 전압 V_{dd} 를 감소시켜 고정 이득단으로도 사용 가능한 소자이다.

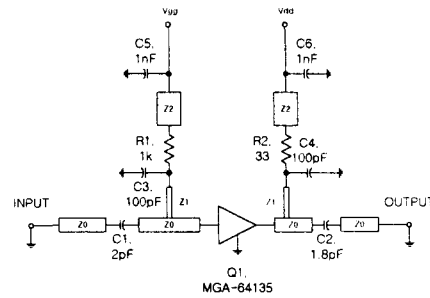


그림 4. 가변이득 증폭기 회로
Fig. 4. The circuit of the variable gain amplifier.

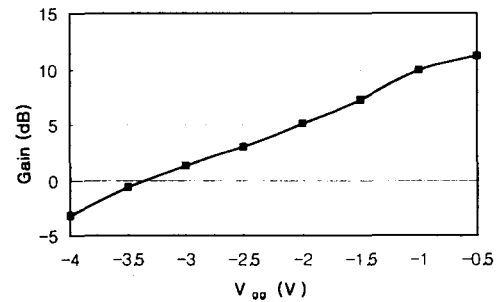


그림 5. 전압 V_{gg} 의 변화에 대한 이득변화 곡선
Fig. 5. A variable gain response curve with V_{gg} controlled voltage.

또 MGA-64135를 고정 이득단으로 사용할 때는 출력단자에 바이어스 디커플링 회로(Bias Decoupling Circuit)를 통하여 V_{dd} 전압을 인가시킨다. 전형적인 바이어스 디커플링 회로는 높은 임피던스(보통100Ω)의 마이크로스트립 라인과 100 pF정도의 바이패스 커패시터로 구성된다. 가변이득 증폭기로 사용할 때는 바이어스 디커플링 회로를 입력단에 부가하여 V_{gg} 전압을 변화 시킴으로써 이득조절이 가능하도록 그림 4와 같이 설계하였다. 그림 5는 제작되어진 가변이득 증폭기를 주파수 1637 MHz에서 V_{dd} 전압이 12 V일 때, V_{gg} 전압변화에 대한 이득 변화를 보여주 고 있다.

제작된 증폭기를 회로망 분석기를 이용하여 V_{dd} 전압이 12 V일 때, V_{gg} 전압을 0~4 V까지 변화 시킬 때 이득의 변화와 임·출력 정제파비의 변화를 측정하였다.

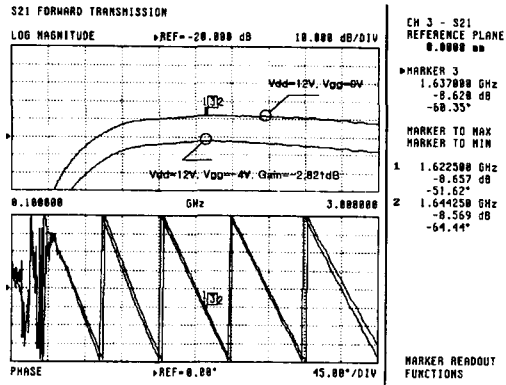


그림 6. 전압 V_{gg} 의 변화에 대한 이득변화

Fig. 6. A variable gain response with V_{gg} controlled voltage.

그림 6은 측정된 이득과 위상의 변화를 나타내며, 주파수 1626.5~1646.5 MHz에서 전압이 $V_{dd}=12$ V, $V_{gg}=0$ V일 때 11.3 dB 이상의 이득과 ± 0.1 dB의 이득 평단도를 나타냈으며, 전압 $V_{gg}=0\sim 4$ V까지 변화 시킬 때 13.5 dB 이상의 이득변화를 보였다.

그림 7은 제작된 가변이득 증폭기의 입·출력 정재파비를 측정된 결과를 보여주며, 전압 $V_{gg}=0\sim 4$ V까지 변화될 때 1.8:1 이하의 입·출력 정재파비를 유지함을 알 수 있다.

구동증폭단의 둘째단은 주파수 1626.5~1646.5 MHz 대역에서 상용화 되어 사용할 수 있는 소자들 중에서 A급 증폭이 가능하며, 사용주파수에서 적절한 입·출력 전력을 갖는 모토롤라사의 MRF-6401을 선정하였다[7]. MRF-6401의 데이터 시트(Data Sheet)에서 제공된 S-파라미터를 기초로 하여 중심 주파수 1635 MHz에서의 입출력 반사계수를 구하면 입력 반사계수는 $\Gamma_s=0.858 \angle -150.66^\circ$ 이고, 출력 반사계수는 $\Gamma_L=0.602 \angle 78.91^\circ$ 이다[8],[9].

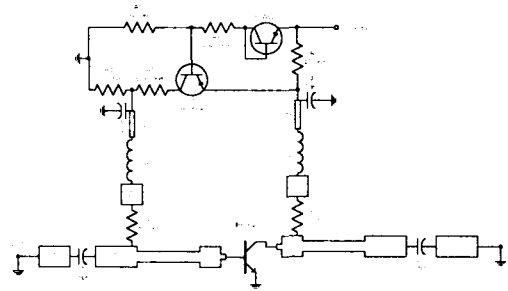
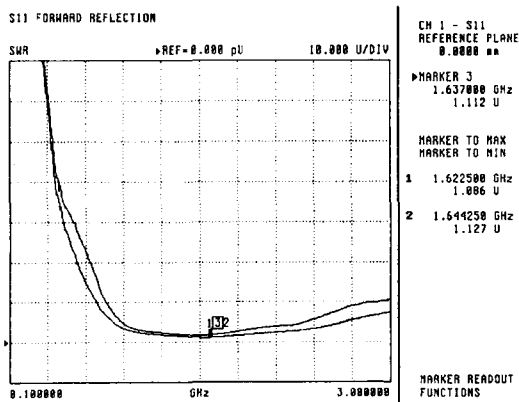


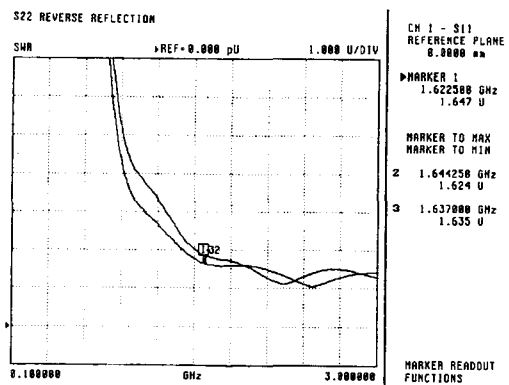
그림 8. 0.5 Watt 증폭기 회로

Fig. 8. The circuit diagram for the 0.5 Watt amplifier.

위에서 구한 입·출력 반사계수를 가지고 전송



(a) 입력 정재파비
(a) The input VSWR.



(b) 출력 정재파비
(b) The output VSWR.

그림 7. 제작된 가변 이득증폭단의 입·출력 정재파비

Fig. 7. The input and output VSWR of variable gain amplifier stage.

선로와 커패시터를 이용하여 이득 및 반사손실을 고려하여 증폭기를 그림 8과 같이 설계하였다.

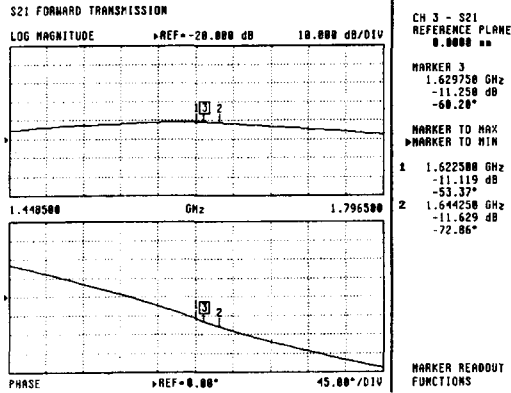


그림 9. 제작된 0.5 Watt 증폭기의 이득 및 위상
Fig. 9 The gain and phase of the fabricated 0.5 Watt amplifier.

그림 9는 제작된 0.5 Watt 증폭기의 이득 및 위상 특성을 나타내며, 제작된 증폭기는 1626.5~1646.5 MHz에서 8 dB(측정시 20 dB 감쇠기 부가) 이상의 이득과 ± 0.2 dB의 이득 평단도, 1.5:1 이하의 입·출력 정재파비를 보였으며, 설계시 고려했던 사양과 일치함을 확인하였다.

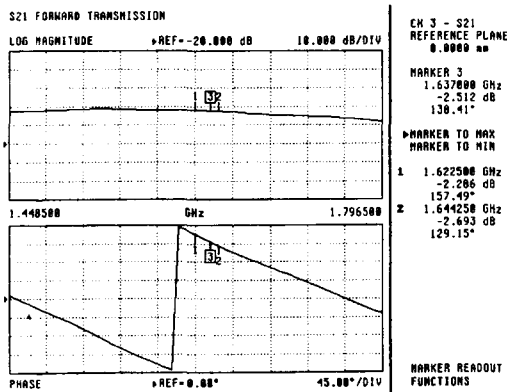
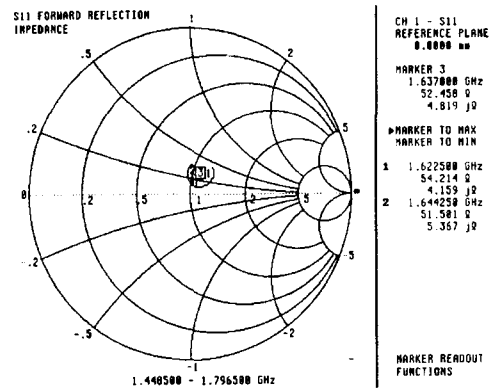


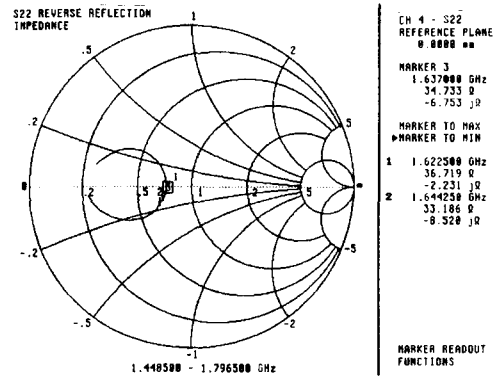
그림 10. 제작된 구동증폭단의 이득 및 위상
Fig. 10. The gain and phase of the fabricated driving stage.

(3) 구동증폭단의 특성 측정

가변이득 증폭단과 0.5 Watt 증폭기를 연결하여 제작된 구동증폭기를 회로망 분석기를 이용하여 이득 및 위상 특성, 입·출력 특성 임피던스를 측정하여 정합 특성을 분석하였으며, 그림 10과 그림 11은 제작된 구동증폭기를 주파수 1626.5~1646.5 MHz에서 18 dB(측정시 20 dB/50 Watt 감쇠기 부가) 이상의 이득과 ± 0.2 dB의 이득 평단도와 이상적인 특성 임피던스를 나타내었다.



(a) 입력 스미스 도표
(a) The input smith chart.



(b) 출력 스미스 도표
(b) The output smith chart.

그림 11. 구동증폭단의 입·출력 스미스 도표
Fig. 11. The input and output smith chart of the driving stage.

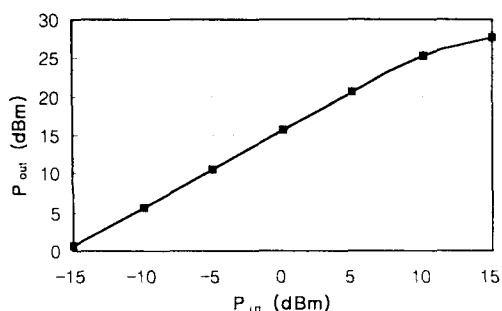


그림 12. 구동증폭단의 입·출력 전달특성
Fig. 12. P_{in}/P_{out} transfer characteristics of the driving stage.

그림 12는 중심주파수 1635 MHz에서의 입력 신호전력 대 출력 신호전력의 변화를 나타낸다. 제작된 구동증폭단의 P_{1dB} 입력은 14 dBm으로 설계 시 고려했던 12 dBm을 상회하였다.

구동증폭단의 입력단에 인가되는 +28 V DC 전원과 신호를 분리시키기 위해 입력단에 DC 커플링(Coupling)을 이용하였으며, 그림 13는 여파기를 포함한 구동증폭단의 소신호 이득을 나타내며, 이득은 여파기의 손실인 3 dB정도의 줄어든 15 dB 이상을 나타내었다.

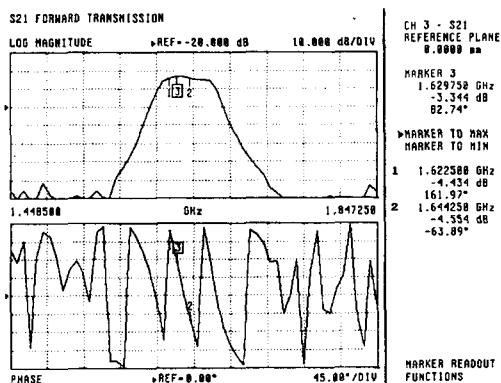


그림 13. 여파기를 포함한 구동증폭단의 소신호 이득 및 위상
Fig. 13. The small signal gain and phase of of the fabricated driving stage including filter.

제작된 구동증폭단은 설계사양과 비교해 볼 때

모든 특성을 만족시켰으며, 그림 14는 기판 두께 31 mil, 유전율 4.8인 FR-4기판을 사용하여 제작된 구동증폭단의 실물 사진을 보여준다.



그림 14. 제작된 구동증폭단의 사진
Fig. 14. The photograph of the fabricated driving stage.

(4) 전력증폭단의 구성

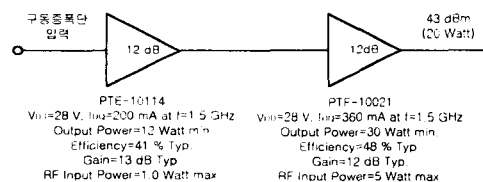


그림 15. 전력증폭단의 구성도
Fig. 15. The block diagram of the high power stage.

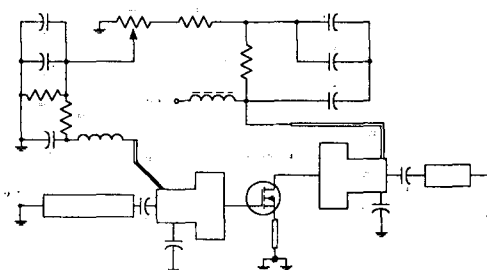


그림 16. 전력증폭단 회로 및 바이어스 회로
Fig. 16. The circuit diagram and bias circuits of the high power stage.

그림 15는 1626.5~1646.5 MHz의 주파수대역에서 고출력증폭기의 구성도이며, 이에 사용된 소자는 첫째단을 PTE-10114, 둘째단은 PTF-10021를 이용

하였으며, 정합 회로망은 집중소자와 분포 정수회로를 조합하여 그림 16과 같이 설계하였다[10].

그림 17은 PTE-10114를 이용하여 제작한 12 Watt 증폭기의 소신호 이득 및 위상 특성을 나타내고, 그림 18은 제작된 증폭기의 입·출력 정재파비를 나타낸다. 제작된 증폭기는 1626.5~1646.5 MHz 주파수대역에서 14 dB 이상 (측정시 20 dB 감쇠기 부가)의 이득 및 ± 0.1 dB의 이득평단도, 2:1 이하의 입·출력 정재파비를 나타내었다.

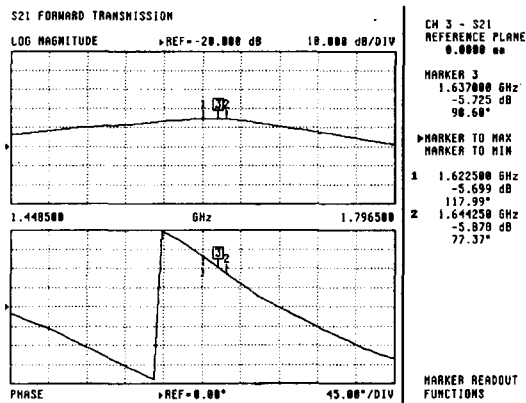
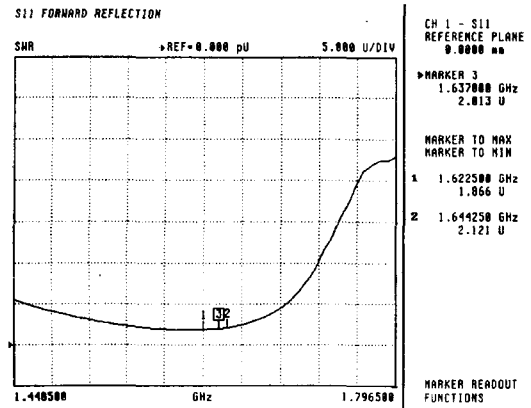


그림 17. 제작된 12 Watt 증폭기의 이득 및 위상
Fig. 17. The gain and phase of the fabricated 12 Watt amplifier.

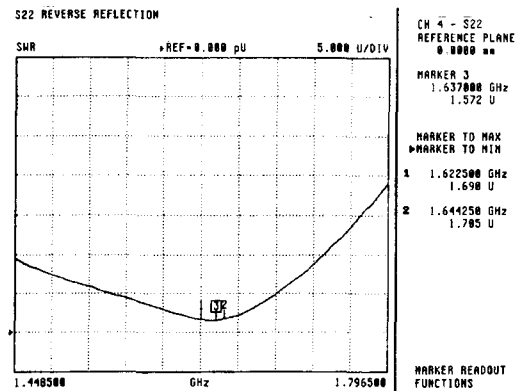
그림 19는 구동증폭단과 12 Watt 증폭기를 연결하여 중심 주파수 1635 MHz에서의 입력신호전력 대 출력신호전력의 변화를 나타낸다. 제작된 증폭기의 P_{1dB} 입력레벨 측정에는 12 Watt 증폭기에 $V_{gs}=3.6$ V, $V_{ds}=28$ V 그리고 $I_d=400$ mA를 인가하였을 때 13 dBm을 나타내었다.

제작된 12 Watt 증폭기는 설계사양과 비교해 볼 때 모든 특성을 만족시키며, 특히 우수한 이득과 위상의 선형성을 보였다.

또 30 Watt 고출력 증폭 소자인 PTF-10021에 360~600 mA의 드레인 전류와 28 V의 전압을 공급하여 소신호 이득과 위상 특성을 측정하였다. 그림 20은 제작된 30 Watt 증폭기의 소신호 이득 및 위상 특성을 나타내고, 1625~1645 MHz에서 15 dB 이상(측정시 20 dB 감쇠기 부가)의 이득과 위



(a) 입력 정재파비
(a) The input VSWR.



(b) 출력 정재파비
(b) The output VSWR.

그림 18. 제작된 12 Watt 증폭기의 입·출력 정재파비

Fig. 18. The input and output VSWR of the fabricated 12 Watt amplifier.

상의 선형성을 나타내었다. 그림 21은 제작된 30 Watt 증폭기의 입·출력 손실을 측정된 결과를 나타내며, 15 dB이하의 입·출력 손실을 나타내었다.

(5) 2단 가변이득 증폭기 회로 및 온도보상회로 INMARSAT-M형 이동위성 통신용 송신 시스템의 출력은 고출력 모드와 저출력 모드의 두가지 모드

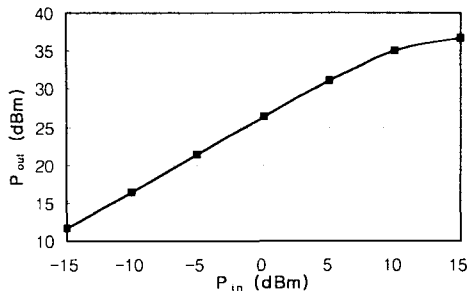
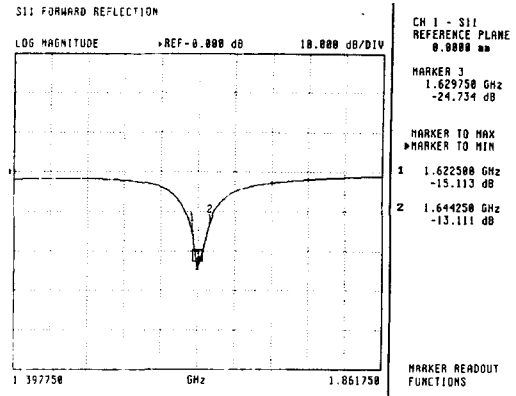


그림 19. 12 Watt 증폭기의 입·출력 전달특성
Fig. 19 P_{in}/P_{out} transfer characteristics of 12 Watt amplifier.



(a) 입력 손실
(a) The input loss.

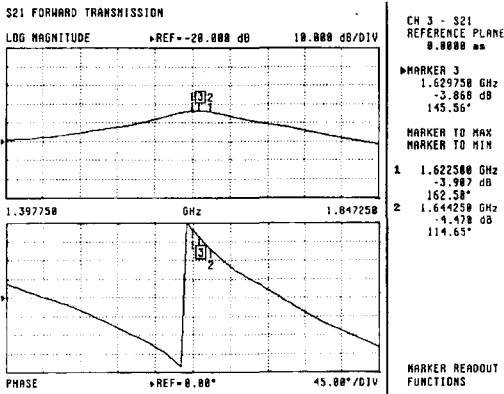
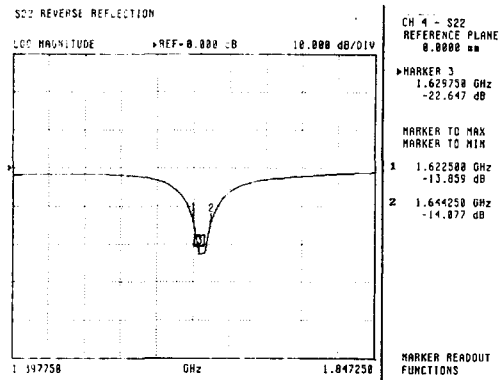


그림 20. 제작된 30 Watt 증폭기의 이득 및 위상
Fig. 20. The gain and phase of the fabricated 30 Watt amplifier.



(b) 출력 손실
(b) The output loss.

가 필요하며, 각 모드의 이득은 외부의 영향, 즉 온도변화에 따라 항상 일정하게 유지되어야 하며 각각의 오차의 범위는 항상 상한 +1 dBm과 하한 -2 dBm을 요구한다.

그림 22는 이와 같은 특성을 얻기 위한 온도보상 회로 및 이득 조절 회로이며, 고출력 모드인 경우 42 dBm, 저출력 모드의 경우 36 dBm의 출력 이득이 요구되는데, 이는 강제 전환에 의해 전환 가능해야 한다.

본 연구에서는 그림 22와 같이 SW1과 SW2의 각각의 스위치 전환에 의해 서로 다른 바이어스 저항(Bias resistor)를 가짐으로써 구동증폭단의 첫

그림 21. 제작된 30 Watt 증폭기의 입·출력 손실
Fig. 21. The input and output loss of the fabricated 30 Watt amplifier.

째단인 MGA-64135의 V_{gg} 전압의 기준점의 변화를 가지도록 하였다. 따라서 SW1이 ON되었을 경우 V_{gg} 전압은 -1 V 정도의 값으로 고출력 모드가 되며, SW2가 ON되었을 경우 V_{gg} 전압은 -2.5 V 정도의 값으로 저출력 모드가 된다. 고출력 모드의 V_{gg} 전압은 -1 V 정도이며, 저출력 모드의 V_{gg} 전압은 -2.5 V 정도이다. 이는 V_{gg} 전압의 기준점(Reference value point)만을 이동시키고 가변범위는 같다. 다시 말해 전체 가변범위를 일정하게 유지한 상태에

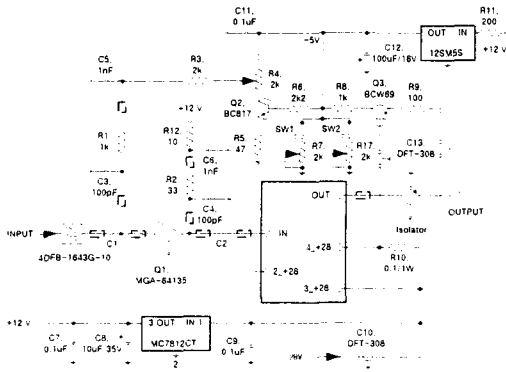


그림 22. 온도보상회로 및 출력 조절 회로.
Fig. 22. A circuit of the temperature compensation and variable gain.

서 전체적으로 전압을 조절 해준 것이다.

온도의 변화에 따른 이득 보상회로는 고출력 증폭소자 PTE-10114와 PTF-10021의 온도변화에 대한 이득변화를 보정하기 위해 Q₃의 베이스와 에미터 양단에 0.1 Ω / 1 W 저항을 이용하여 전류 변화량을 검출하였다. 전류변화에 따라 Q₃의 콜렉터의 전류량은 변화될 것이고 Q₂의 바이어스 저항 R₇에 의해 Q₂의 베이스 전압이 변화된다. 따라서 가변이득 증폭단의 MGA-64135의 V_{BE} 전압을 -2.9 V를 기준으로 하여 0.1 Ω / 1 W 저항에 의한 전류 변화량에 따라 ±1 V 정도의 V_{BE} 전압의 변화가 생기도록 설계하였다.

만약 송신 시스템의 온도가 하강하면 MGA-64135와 전력증폭단의 이득이 감소하게 되는데 이를 보상하기 위해 MGA-64135의 V_{BE} 전압과 전력증폭단의 공급전압을 증가시켜 전체 이득이 일정하게 유지된다. 또 온도가 상승하면 MGA-64135와 전력증폭단의 이득이 증가하므로 이때 저항 0.1 Ω / 1 W에 걸리는 전압 또한 증가하고, Q₂의 베이스 전압이 또한 증가하므로 MGA-64135의 V_{BE} 전압은 감소하므로, 구동증폭단의 이득이 감소하여 전체 이득은 일정하게 유지된다.

IV. 측정 및 결과 고찰

전력증폭기의 소신호 이득 및 입·출력 반사계

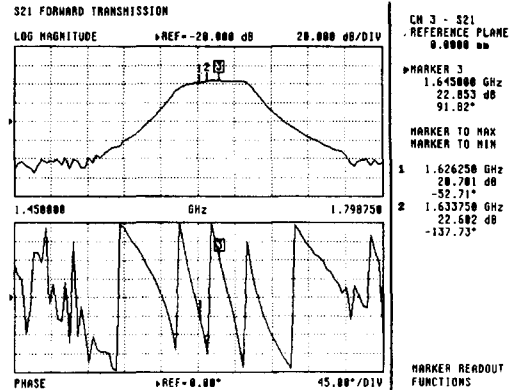


그림 23. 고출력 모드일 때 소신호 이득
Fig. 23. A small-signal gain of the high power mode.

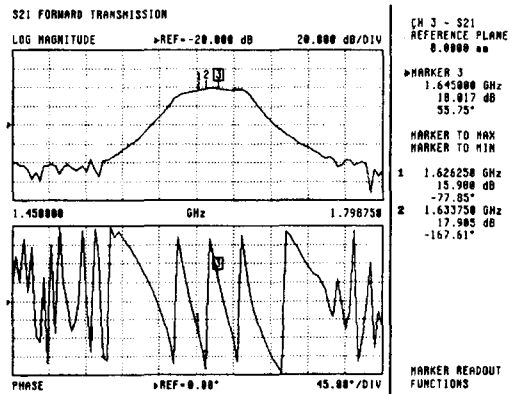
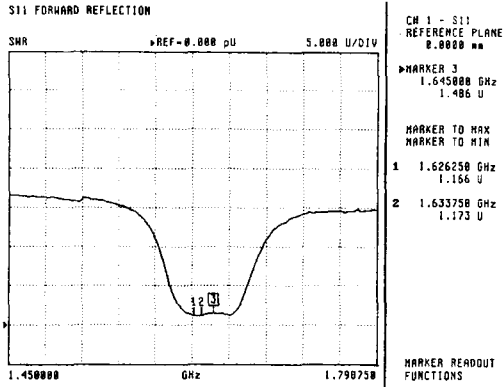


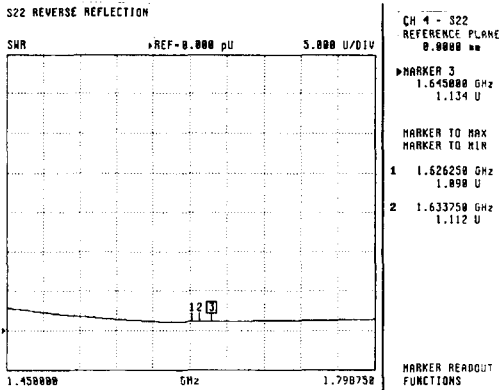
그림 24. 저출력 모드일 때 소신호 이득
Fig. 24. A small-signal gain of the low power mode.

수 측정을 회로망분석기를 사용하였으며, 측정시 장비의 보호를 위해 전력증폭기의 출력단에 20 dB/50 Watt 감쇠기를 삽입하여 측정하였다.

송신단에 20 dB 감쇠기를 부가한 상태에서 고출력 모드일 때 측정된 소신호 이득 및 위상을 그림 23에 나타내었으며, 전력증폭기는 1626.5~1646.5 MHz의 20 MHz대역에서 42.8 dB이득과 ±1 dB의 이득평단도를 갖음을 나타낸다. 또 그림 24는 저출력 모드일 때 측정된 소신호 이득 및 위상을 나타내며 37 dB이득과 ±1 dB의 이득평단도를 갖음을 나타내었고, 1.5:1 이하의 입·출력 정재파비를 나타내었다



(a) 입력 정재파비
(a) The input VSWR.



(b) 출력 정재파비
(b) The output VSWR.

그림 25. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기의 입·출력 정재파비
Fig. 25 The input and output VSWR of the fabricated 2-mode high power amplifier.

그림 26은 중심 주파수 1635 MHz에서의 입력 신호 전력 대 출력신호 전력의 변화를 나타낸다. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기가 고출력 모드일 때 P_{1dB} 입력은 5 dBm, 저출력 모드일 때 P_{1dB} 입력은 11 dBm을 나타내었다.

INMARSAT-M형 이동위성통신 단말기의 2단 가변이득 전력증폭기는 지상의 환경변화에 충분히 그 성능을 유지하여야 한다. 특히 온도의 변화가 심할 경우 온도에 따른 신뢰성을 갖는다는 것은

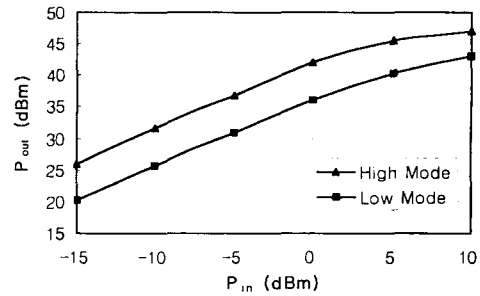


그림 26. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기의 입·출력 전달특성
Fig. 26 P_{in}/P_{out} transfer characteristics of the 2-mode high power amplifier.

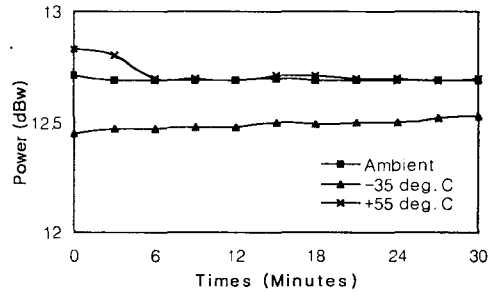


그림 27. 중심주파수 1636.5 MHz에서의 온도에 대한 출력 안정도
Fig. 27 The power stability over temperature at frequency 1636.5 MHz.

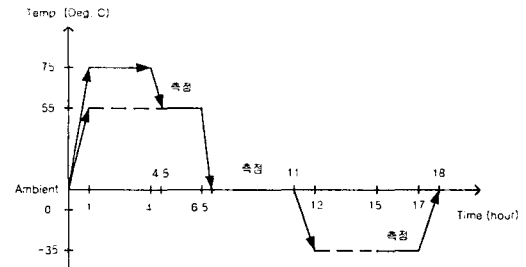


그림 28. 온도주기
Fig. 28. A temperature cycle.

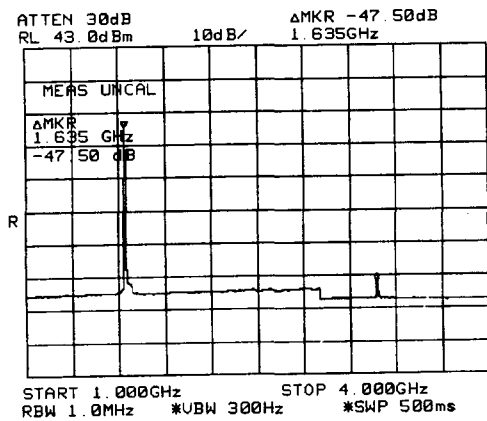
상당히 중요하다. 따라서 이동위성통신 시스템에 장착되는 모든 모듈은 온도에 따른 안정성을 판별

하기 위한 실험이 필요하다. 본 논문에서 제작한 2단 가변이득 전력증폭기를 온도 변화에 따른 전력 안정도를 중심 주파수 1635.5 MHz에서 고출력 모드에 대한 측정결과를 그림 27에 나타내었으며, 온도실험 주기는 그림 28과 같다[11].

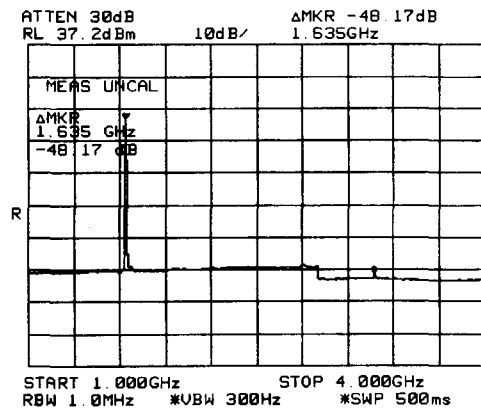
그림 29는 1635 MHz에서 0 dBm의 입력신호를 인가하였을 때 증폭기의 출력의 기본파와 제2 고조파 이었고, 이때의 제2 고조파의 크기는 3270 MHz에서 고출력 모드일 때 -4.5 dBm, 저출력 모드일 때

-5.17 dBm으로 측정되었고, 기본파와의 차이는 47.5 dBc와 48.17 dBc이다. 이러한 결과는 증폭기의 제2 고조파는 송신 시스템의 성능에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

전력증폭기의 경우 여러 신호가 출력됨에 따라 고조파에 의한 영향이 기본파에 영향을 미치게 된다. 고조파 중 3차 상호변조 전력은 증폭기의 대역폭 내에서 기본주파수에 근접해 있기 때문에 출력에서의 왜곡현상에 큰 영향을 주는 요소가 되며

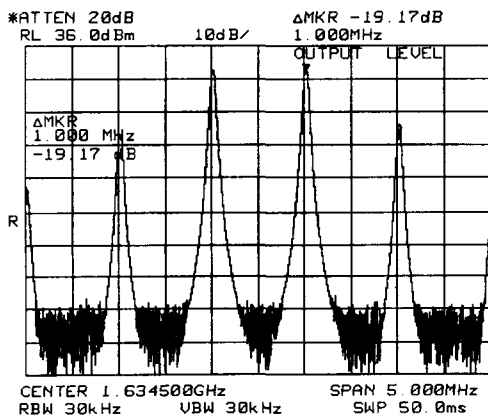


(a) 고출력 모드
(a) The high power mode.

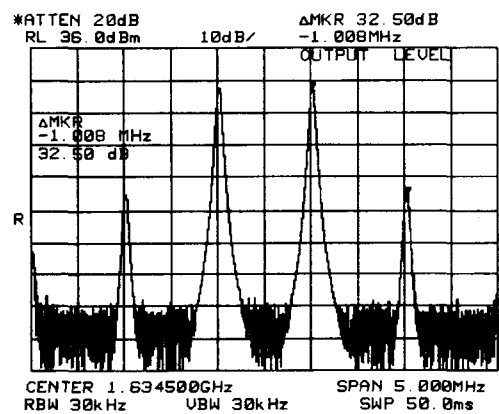


(b) 저출력 모드
(b) The low power mode.

그림 29. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기의 기본파와 제2 고조파
Fig. 29. Fundamental signal and 2nd harmonics of the fabricated variable gain high power amplifier.



(a) 고출력 모드일 때 IM₃ 스펙트럼
(a) A IM₃ spectrum in high power mode.



(b) 저출력 모드일 때 IM₃ 스펙트럼
(b) A IM₃ spectrum in low power mode.

그림 30. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기의 상호변조왜곡 특성
Fig. 30. Intermodulation characteristics of the fabricated variable gain high power amplifier.

이에 따라 IM_3 측정이 필수적이다. P_{1dB} 에서 3 dB back off 시킨 1 MHz 간격의 두 신호를 전력증폭기에 입력할 때 IM_3 측정결과를 그림 30에 보여주고 있다.

표 2는 2단 가변이득 전력증폭기의 측정결과를 제시하고 있다. 제작된 증폭기는 모든 설계사양을 만족하며 우수한 선형성과 온도에 대한 출력의 안정성을 보였다.

그림 31은 기판 두께 31 mil, 유전율 4.8인 FR-4 기판을 사용하여 제작된 2단 가변이득 전력증폭기의 실물 사진을 보여준다.

표 2. 2단 가변이득 전력증폭기 측정결과
Table 2. A experimental result of the 2-mode high power amplifier.

Item Description	Specification
Frequency Band	1626.5~1646.5 MHz
Max. output power	42 dBm (High Mode) 36 dBm (Low Mode)
Linear Power Gain	42 ± 1 dB (High Mode) 36 ± 1 dB (Low Mode)
P_{1dB} 입력	5 dBm (High Mode) 11 dBm (Low Mode)
IM_3	19.17 dBc (High Mode) 32.50 dBc (Low Mode)
Gain stability over temperature	± 1 dBm max. at -35~+55 C
Input VSWR	1.134:1
Output VSWR	1.486:1
Impedance	50 Ω
Current Consumption	2.3 A (High Mode) 2.1 A (Low Mode)
전력효율(Efficiency)	31.06 % (High Mode) 8.5 % (Low Mode)
Voltage	28 V ± 1 V DC
Size	230 × 52 × 20 (mm)



그림 31. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기의 사진
Fig. 31. The photograph of the fabricated 2-Mod high power amplifier.

V. 결론

본 논문에서는 INMARSAT-M형 송신기에 사용되는 L-BAND(1626.5~1646.5 MHz)용 전송장치로 사용될 수 있는 20 Watt 2단 가변이득 전력 증폭기를 설계·제작하였다. 전력증폭기는 유전율 4.8, 두께 31 mil인 FR-4 기판을 사용하여 구동증폭단과 전력증폭단을 단일 기판상에 집적화 하였다. 전력증폭단을 구동하기 위한 구동단증폭단은 HP사의 MGA-64135와 모토롤라사의 MRF-6401을 사용하

였으며, 전력증폭단은 에릭슨사의 PTE-10114와 PTF-10021을 사용하여 RF부, 온도보상회로 및 출력 조절회로를 함께 집적화 하였다. 제작된 2단 가변이득 전력증폭기는 구동증폭단의 전압을 제어하는 방법으로 이득을 제어하였으며, 20 MHz 대역폭 내에서 소신호 이득이 고출력 모드일 때 최대 42 dB, 저출력 모드일 때 최대 36 dB, 입·출력 정재파비는 1.5:1 이하를 나타내었으며, 최대 출력 전력은 고출력 모드일 때 42 dBm, 저출력 모드일 때 36 dBm으로서 설계시 목표로 했던 최대출력 전력 20 Watt를 얻었다.

<본 연구는 산업자원부에서 지원하는 중기거점 기술개발의 일부분인 INMARSAT 위성 통신 단말기 기술 개발연구과제의 연구결과 중 일부분입니다.>

참 고 문 헌

- [1] D. Roddy, Satellite Communications, pp. 63-107, Prentice Hall, 1989.
- [2] INMARSAT, Inmarsat Maritime Communications Handbook Issue 2. 1988.
- [3] Marian W. Pospieszalski, Sander Weinreb, Roger D. Norrod, Ronald Harris, FET's and HEMT's at cryogenic temperature their properties and use in low noise amplifier, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-36, pp. 552-558, Mar. 1988.
- [4] John L. B. Walker, High power GaAs FET amplifier, Artech House, 1993.
- [5] S.A. Mass, Nonlinear microwave circuits, Artech House, 1988.
- [6] HEWLETT PACKARD, Communications Components - GaAs & Silicon Products Designer's Catalog, pp. 9-37, HP, 1998.
- [7] Motorola, MOTOROLA RF DEVICE DATA, pp.2-597, Motorola, 1996.
- [8] B. Albinson, A Graphic Design Method for Matched Low Noise Amplifiers, IEEE Trans. Microwave Theory and tech., MTT-38, pp. 118-122, March, 1990.

[9] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifier Analysis and Design, Prentice-Hall, 1984.

[10] ERICSSON, RF Power Transistor Data Book, pp. 4-15~29, Ericsson, 1999.

[11] 전중성, 김동일, 배정철, INMARSAT-C형 위성통신단말기의 20 Watt 고출력증폭기에 관한 연구, 해양정보통신학회 논문지, 제3권, 제2호, pp. 281~290, 6월, 1999.



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, 전자과
수치해석 등



김 동 일(Dong-Il Kim)

1975년 2월 한국해양대학교 항해
학과(공학사)

1977년 2월 한국해양대학교
대학원 전파공학전공(공학
석사)

1984년 3월 일본 동경공대 대학원 전기전자공학과
(공학박사)

1975년 3월~1993년 9월 한국해양대학교 전자통신
공학과 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 전
자통신공학과(공학사)

1993년 8월 한국해양대학교 대
학원 전자통신공학과(공학석사)

1996년 8월 한국해양대학교 대
학원 전자통신공학과(공학박사)

1988년 9~현재 삼양무선(주) 부설 선박자동화 연구
소 소장

* 관심분야 : 선박통신 및 해상이동통신 등