
INMARSAT-C형 위성통신단말기를 위한 안정한 20 Watt 고출력 증폭기에 관한 연구

전중성*, 김동일**, 배정철***

A Study on the Stable 20 Watt High Power Amplifier for INMARSAT-C

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

요 약

본 논문에서는 INMARSAT-C형 송신기에 사용되는 L-BAND(1626.5~1646.5 MHz)용 고출력 증폭기(High Power Amplifier)를 연구 개발하였다. 제작의 간편성 때문에 전체 고출력증폭기를 크게 구동증폭단과 전력증폭단 두 부분으로 나누어 구현하였으며, 전력증폭부를 구동하기 위한 구동단은 HP사의 AT-41486을 사용하였으며, 전력증폭단은 SGS-THOMSON사의 STM1645를 사용하여 RF부와 온도보상회로를 함께 집적화하였다. 제작된 고출력증폭기는 20 MHz대역폭 내에서 소신호 이득이 36 dB 이상, 입·출력 정재파비는 1.5:1 이하이었다. 1636.5 MHz 주파수에 대해 출력전력은 42.2 dBm이상으로서 실제시 목표로 했던 출력전력 20 Watt를 얻었다.

Abstract

This paper presents the development of a high power amplifier for a transmitter of INMARSAT-C operating at L-band(1626.5~1646.5 MHz). To simplify the fabrication process, the whole system is designed of two parts composed of a driving amplifier and a high power amplifier. The HP's AT-41486 is used for driving part and the SGS-THOMSON microelectronics' STM1645 is used the high power amplifier. The SSPA(Solid State Power

* 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정

** 한국해양대학교 전파공학과 교수

*** 삼양무선공업(주) 부설 선박 자동화 연구소

접수일자 : 1999년 4월 15일

Amplifier) was fabricated by the both circuits of RF and temperature compensation in aluminum housing. The realized SSPA has more than 36 dB for small signal within 20MHz bandwidth, and the voltage standing wave ratios(VSWR) of input and output port are less than 1.5:1, respectively. The output power of 42.2 dBm is achieved at the 1636.5 MHz. These results reveal a high power amplifier of 20 Watt which is the design target.

1. 서 론

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

INMARSAT(The International Maritime Satellite) 위성 네트워크는 4개의 정지궤도 위성과 많은 지구국으로 구성된 범 세계적인 통신 시스템이다. INMARSAT-C는 인공위성을 이용하여 고품질의 팩스, 텔렉스, E-mail 및 데이터 통신을 하며 L-band(1626.5~1646.5 MHz)에서 운용되는 시스템이다. 위성 구간에 있어서는 600 bps의 저속데이터를 전송하는 것으로 INMARSAT국 혹은 해안 지구국에서 데이터를 일단 축적하고 나서 전송하는 Store and Forward 방식으로 전세계의 선박 또는 지상의 사용자에게 서비스를 제공한다[2].

위성통신 단말기에 장착되는 고출력증폭기는 지상의 환경변화에 대하여 그 성능을 충분히 유지하여야 한다. 특히 온도변화가 심할 때 온도에 따른 제품의 신뢰성을 갖게 하는 것은 아주 중요하다. 따라서 42.2 dBm의 고출력증폭기는 온도에 대한 안정성도 고려하여야 한다. 고출력증폭기의 온도변화에 대한 전력이득의 변화는 신호대 잡음비의 증가, 1 dB 압축점(P_{1dB})과 상호변조왜곡 등을 초래하게 된다. 그러므로 온도변화에 대한 전력이득 변화로 발생하는 왜곡의 영향을 방지하기 위해서는 고출력증폭기의 제작시 우수한 온도특성을 갖도록 온도 보상회로를 설계·제작하여야 한다[3].

본 논문에서는 유전율 4.8, 두께 31 mil인 FR-4 기판을 사용하여 전력증폭단을 구동하기 위한 구동증폭

단은 HP사의 Silicon Bipolar Transistor인 AT-41486을 사용하였으며, 전력증폭단은 SGS-THOMSON사의 STM1645를 사용하여 RF부와 온도보상회로를 함께 집적화 하였다.

제작된 고출력 증폭기는 1626.5 ~ 1646.5 MHz 대역에서 소신호 이득 36 dB, 출력 42.2 dBm 이상의 증폭특성을 나타냈다.

이러한 측정 결과는 위성 송신 시스템의 설계 사양과 잘 일치하는 것으로 본 논문에서 제작된 고출력 증폭기는 INMARSAT-C형 위성통신단말기에 널리 사용될 수 있을 것이다.

II. INMARSAT-C형 위성 송신 시스템

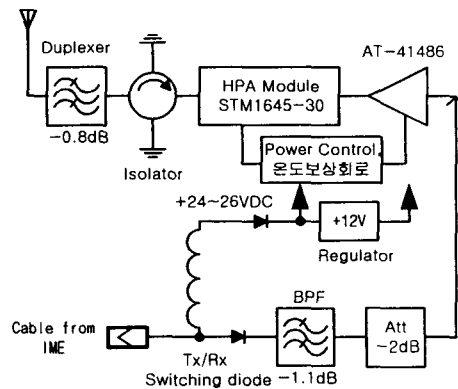


그림 1. 송신단의 블록도

Fig. 1. The block diagram of transmitter section.

INMARSAT-C형 위성 송신시스템에서 실내기기(Internal Mounting Equipment)의 변조부에서 만들어진 송신신호는 변조부 바로 뒤에 연결된 증폭기를 통하여 12 ~ 17 dBm의 전력으로 증폭된 후 동축케이블을 통해 실외기기(External Mounting Equipment)의 송신부에는 -3 ~ +2 dBm 정도의 신호가 입력된다. 이

신호는 구동증폭단의 Silicon Bipolar Transistor인 AT-41486과 전력증폭단의 STM1645에 의해 +42.2 dBm정도의 전력으로 증폭된다. 송신부의 입력에는 실내기로부터 동축 케이블을 통해 통상 +2 dBm정도의 신호전력과 +24 ~ +26V의 전원이 인가되어, Tx/Rx Switching Diode와 전원 다이오드를 ON 시킴으로써 송신신호와 전원이 구동증폭단과 전력증폭단에 공급되어지도록 송신시스템을 그림 1과 같이 구성하였다.

Ⅲ. 전력증폭기 설계

일반적으로 고출력증폭기의 설계 및 제작에서는 저잡음증폭기와 같은 소신호증폭기 설계와는 달리 높은 전력이득 특성을 얻기 위해 설계상의 주의가 필요하다. 고출력증폭기가 고출력 선형특성을 갖도록 하는데 1개의 power TR로 전력증폭단을 구성하기는 불가능하며 각 단의 전력이득을 고려한 다단연결이 필요하게 된다.

다단 증폭기의 설계는 입·출력 전력의 세기를 고려한 사용소자의 제한에 따라 각 단별로 소자의 요구 성능에 적합한 개별적인 설계를 해야 한다. 이와 같은 설계방법에 의해 전체 고출력증폭기는 구동증폭단과 전력증폭단의 두 부분으로 나누어서 설계하였으며, 증폭기의 설계에 있어서는 각 증폭단 사이에 DC 전원을 차단하기 위해 캐패시터 칩을 사용하였다. 또한 에미터와 콜렉터에는 최소 삼입손실을 갖는 RF 쇼크를 구성하여 원하는 주파수 대역에서 바이어스 인가시 RF신호가 바이어스 라인과 DC전원부로 누출되는 것을 방지하도록 설계하였다.

(1) 송신단 대역통과 여파기

송신단 대역통과 여파기는 실내기기의 주파수 혼합기로부터 발생되어지는 스퓨리어스를 제거하기 위한 유전체 여파기로서 표 1과 그림 2에 대역통과 여파기의 특성 및 곡선을 나타내었다.

(2) 2 dB 감쇠기

본 시스템에서 집중정수 소자인 저항을 이용하

표 1. 고주파 대역통과 여파기 특성

Table 1. High Frequency bandpass filter characteristics.

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

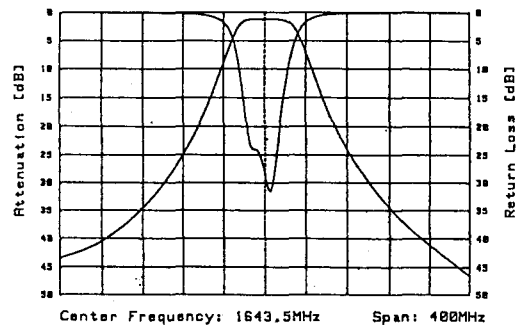


그림 2. 대역통과 여파기의 특성도

Fig. 2. Bandpass filter characteristics.

여 고정신호 감쇠기를 사용하였다. 이러한 고정 감쇠기의 용도는 전체 송신단의 이득 평행을 맞추며 입력단과 정합을 맞추기 위하여 사용하였다. 일반적으로 감쇠기는 초고주파 측정장비 및 마이크로파 시스템 등에서 입·출력 레벨조정, 시스템의 안정화 등에 중요하게 사용되는 부품으로 넓은 대역에 걸쳐서 사용하기 위해서는 대역폭이 커야 하며, 온도에 따른 특성 변화가 적어야 한다. 2 dB 감쇠기회로는 그림 3에 나타내었다[4].

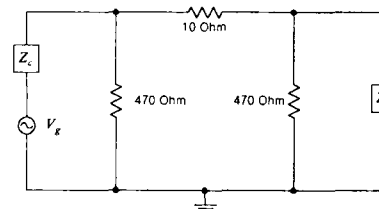


그림 3. 2 dB 감쇠기 회로

Fig. 3. A circuit of 2 dB attenuator

(3) 구동 증폭기

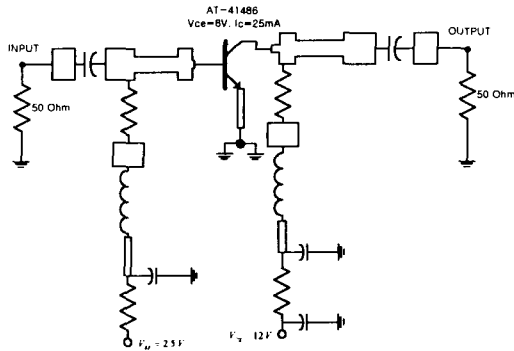


그림 4. INMARSAT-C형 구동 증폭단의 회로 및 바이어스 회로
 Fig. 4. The circuit of a driving stage and bias circuits for INMARSAT-C.

구동 증폭단의 설계에서는 전력증폭단을 구동하기에 충분한 출력과 효율을 갖추어야 하며 사용주파수 대역에서의 이득, 바이어스 전압 그리고 최대 전력을 고려해야 한다[5].

구동 증폭기는 대역내에서 송신단 입력 신호의 세기가 -3 ~ +5 dBm이지만 통상 +2 dBm으로서 IF단의 신호 변화에 출력신호가 일정하도록 궤환(Feedback)회로를 이용하였다. 그림 4는 구동증폭기의 회로 및 바이어스 회로를 나타내며, 구동증폭기의 바이어스 회로 설계는 구동증폭기의 실리콘 바이폴라 트랜지스터인 HP사의 AT-41486 소자에 $V_{ce}=8\text{ V}$, $I_c=25\text{ mA}$ 를 인가하기 위하여 $V_{be}=2.5\text{ V}$, $V_{ce}=12\text{ V}$ 를 인가하였고, AT-41486 칩의 특성을 기초로 하여 사용 주파수대역 1626.5 ~ 1646.5 MHz에서의 이득과 입·출력 정재파비, P_{1dB} 그리고 20 MHz 대역폭을 고려하여 그림 4와 같이 설계하였다.

제작된 구동 증폭기를 Wiltron 360B 회로망 분석기를 이용하여 S-파라미터를 측정하여 이득과 정합 특성을 측정하였다. 그림 5는 제작된 구동 증폭기의 이득 및 위상 특성을 나타내고, 그림 6은 제작된 구동 증폭기의 입·출력 정재파비를 나타낸다. 따라서 제작된 구동 증폭기는 1626.5 ~ 1646.5 MHz에서 15 dB 이상(측정시 20 dB Attenuator 부가)의 이득과 $\pm 0.2\text{ dB}$ 의 이득편차도를 나타내었다.

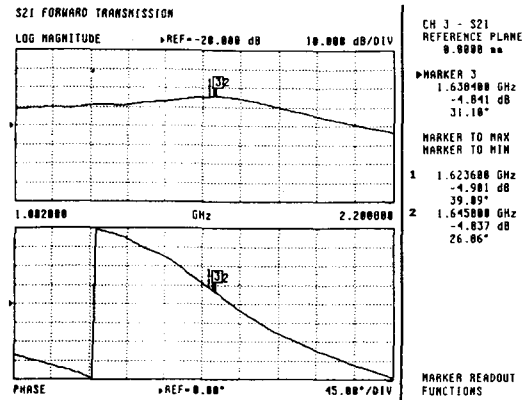
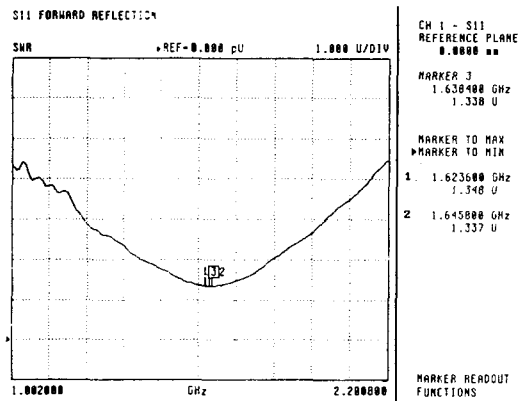
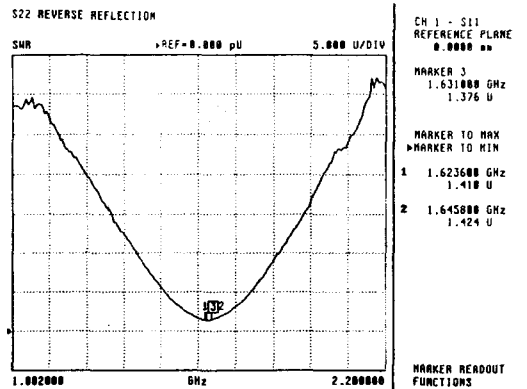


그림 5. 제작된 구동 증폭기의 이득 및 위상
 Fig. 5. The gain and phase of fabricated driving amplifier.



(a) 입력 정재파비
 (a) The input VSWR ratio.



(b) 출력 정재파비
 (b) The output VSWR ratio.

그림 6. 입력과 출력 정재파비
 Fig. 6. The input and output VSWR ratio.

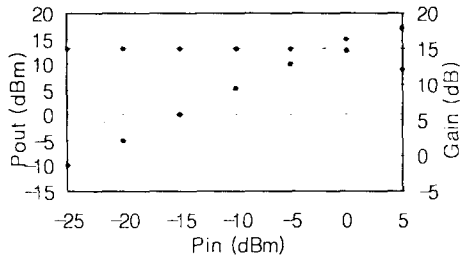


그림 7. 입·출력 전달특성
Fig. 7. Pin/Pout transfer characteristics.

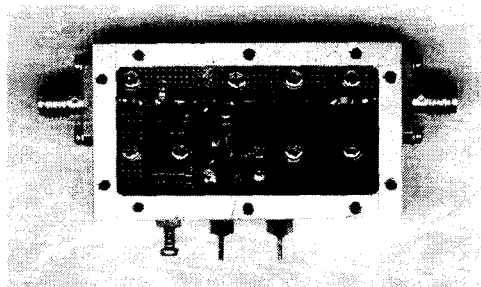


그림 8. 제작된 INMARSAT-C형 구동증폭단의 사진
Fig. 8. The photograph of the fabricated driving amplifier for INMARSAT-C.

그림 7은 1635 MHz의 동작주파수에서 입력신호 전력 대 출력신호전력의 변화를 나타낸다. 제작된 구동증폭기의 P_{1dB} 입력은 3 dBm, P_{1dB} 출력은 18 dBm 을 나타내었다.

제작된 구동 증폭기를 설계사양과 비교해 볼 때 모든 특성을 만족시키며, 특히 우수한 이득과 위상의 선형성을 보였다. 그림 8은 기판 두께 31 mil, 유전율 4.8인 FR-4기판 위에 제작하고 알루미늄 기구를 제작시 RF 회로부에는 바이어스회로와 차폐가 되도록 내벽에 관통 커패시터(Feed through capacitor)을 삽입하여 직류(DC)원에 의한 스푸리어스 성분을 제거하도록 하였다.

(4) 고출력증폭단

INMARSAT-C 송신 주파수대역에서 동작하는 위성통신 단말기에 사용될 C급 전력증폭기 모듈은

현재 SGS-Thomson Microelectronics사에서 생산되고 있다. 제작사에서 제공된 바이어스 전압과 정합 회로를 이용하여 구현하였으며 최종시험에서는 튜닝으로 전력을 조정하였다. 본 전력증폭기 모듈의 주요특성은 표 2와 그림 9와 같다.

표 2. 전력증폭기 특성

Table 2. Power Amplifier characteristics.

Parameter	Test Conditions	Value
Frequency Range		1625 ~ 1665 MHz
Power Output	Pin < 10 mW	35 Watt
Power Gain	Pout=30 Watt	35.5 dB
Efficiency	Pout=30 Watt	40%
DC Power	pout=30 Watt	28V
Input VSWR	Pout=30 Watt	1.5

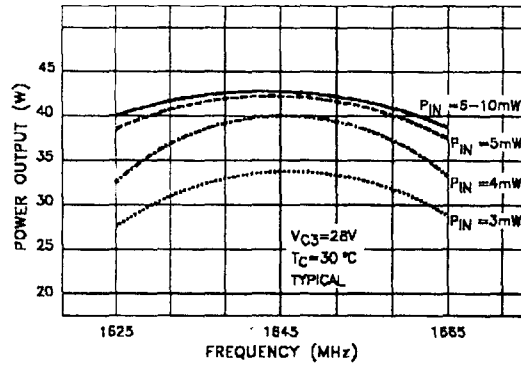


그림 9. 입력전력 대 출력전력
Fig. 9. Power input vs power output.

(5) 온도보상회로

그림 10은 고출력증폭기가 온도변화에 대해 이득이 일정하게 유지하도록 하기위한 개략적인 온도보상 회로를 나타낸다. 만약 송신 시스템의 온도가 하강하면 AT-41486과 STM1645의 증폭단의 이득이 감소하게 되는데 이를 보상하기 위해 AT-41486의 베이스 전류와 STM1645의 공급전압을 증가시켜 전체 이득이 일정하도록 설계하였다. 따라서 온

도가 상승하면 AT-41486과 STM1645의 이득이 증가하므로 이때 0.05Ω과 0.4Ω에 걸리는 전압 또한 증가하고, D8의 3.9 V 정전압 다이오드에 의해 전체 전압이 일정하게 유지되어야 하므로 STM1645에 공급되는 전압과 AT-41486에 흐르는 베이스전류가 작아지므로 이득이 감소하여 전체 이득은 일정하게 유지된다.

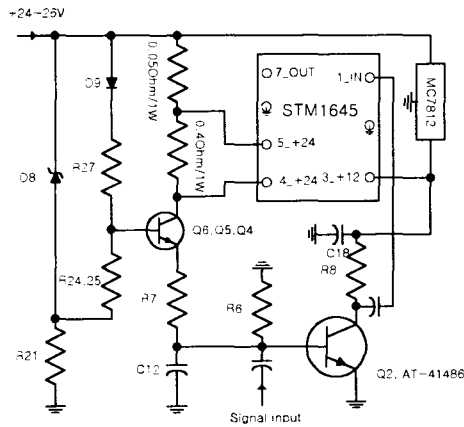


그림 10. 온도보상 회로의 개략도
Fig. 10. The block diagram of temperature compensation.

(6) 듀플렉서(Duplexer)

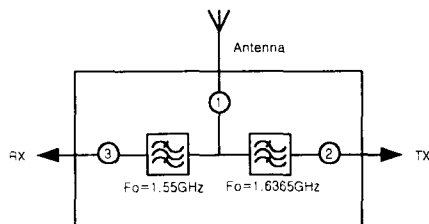


그림 11. 듀플렉서 블록도
Fig. 11. The block diagram of a duplexer.

듀플렉서는 주파수 스펙트럼을 두 개로 분리하는 장치이다. 즉 2개의 각기 다른 주파수 특성을 갖는 대역 통과 여파기로 한쪽 포트에서 병렬로 연결하여 사용함으로써 3포트 디바이스로 구성된다. 위성 통신 단말기에서 사용되는 듀플렉서의 주

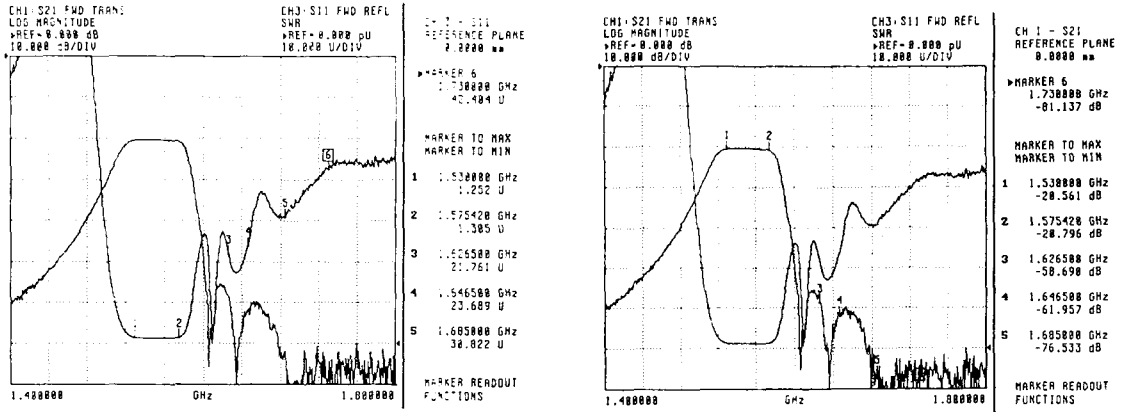
기능은 송신신호와 수신신호를 각기 다른 포트에 분리함으로써 송신증폭기와 수신증폭기가 서로 영향을 받지 않고 안테나를 공유토록 하는 것이다. 그림 11은 듀플렉서의 블록 다이어그램이다.

INMARSAT-C 시스템에서 송신주파수 대역은 1626.5 MHz에서 1646.5 MHz 대역이며 송신 증폭기로부터의 송신신호는 포트에 유입되어 포트에 연결된 안테나에 전달된다. 수신 주파수 대역인 1530 MHz에서 1580 MHz의 수신신호는 포트에 유입되어 포트를 통해 수신증폭기로 전달된다. 위의 전달과정에서 듀플렉서의 2개의 각 필터의 전달 특성 때문에 송·수신신호가 자기 경로가 아닌 다른 경로로 전달되지 않게 된다. 즉 안테나에 연결되어 있는 포트에는 송·수신 신호가 공존하고 있으나 각 증폭기에 연결되어 있는 포트 및 포트에서는 송신 및 수신신호가 각기 독립된다. 또한 듀플렉서에 사용되는 2개의 필터는 특성이 양호한 대역통과 여파기로 구성되어 있기 때문에 송·수신신호 분리 기능 이외에도 부가적인 기능을 갖는다. 수신신호대역의 대역 여파 특성은 타대역 방해 신호 및 잡음을 감쇠 시키도록 동작하기 때문에 수신부의 오동작을 막아준다. 즉 타대역 신호에 대한 면역성을 증가시켜 주는 기능을 갖게 된다. 또한 송신신호 대역의 대역 여파 특성은 위성 통신 단말기의 송신 증폭기 및 IF단의 송신부에서 발생하는 스퓨리어스(Spurious) 신호 및 하모닉(Harmonic) 신호 등의 각종 불필요한 신호를 감쇠 시키는 기능을 갖도록 한다[6].

표 3. 듀플렉서 특성

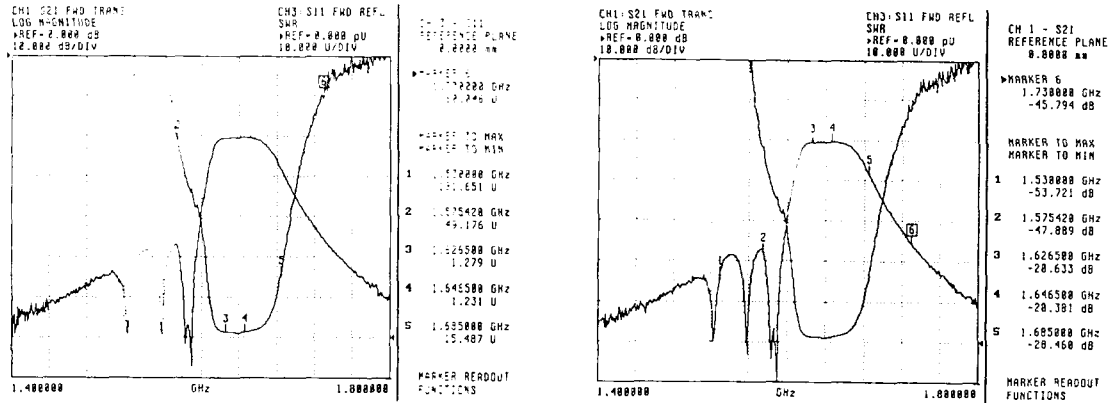
Table 3. The duplexer characteristics.

구 분	규 격
삽 입 손 실	< 0.8 dB
수 신 주 파 수	1530 ~ 1576 MHz
송 신 주 파 수	1626.5 ~ 1646.5 MHz
분 리 도	> 30 dB
반 사 손 실	> 12 dB
정 재 파 비	1.5:1
온 도	-40 ~ +60 C
최대송신출력	30 Watt



(a) 입력 정재파비 (b) 삽입손실
 (a) The input VSWR ratio. (b) The insertion loss.

그림 12. 수신 듀플렉서의 입력 정재파비와 삽입손실
 Fig. 12 The input VSWR ratio and insertion loss of receiver duplexer.



(a) 입력 정재파비 (b) 삽입손실
 (a) The input VSWR ratio. (b) The insertion loss.

그림 13. 송신 듀플렉서의 입력 정재파비와 삽입손실
 Fig. 13 The input VSWR ratio and insertion loss of transmitter duplexer.

듀플렉서 케이스는 고체 알루미늄을 밀링하여 고안정도로 만들어져 있다. 내부의 모든 표면은 낮은 삽입손실을 이루기 위해 은으로 코팅(Coating)

되어져 있고, 크기는 85×60×45mm이며 SMA타입의 컨넥터를 사용한다. 그림 12와 그림 13에 특성도를 나타내었다.

IV. 측정 및 결과 고찰

고출력증폭기의 측정에는 그림 1에서 보여준 송신단 전체를 Wiltron 360B 회로망분석기와 Anritsu power meter ML4803를 사용하여 측정하였다.

고출력증폭기의 소신호 이득 측정은 Network Analyzer를 사용하였으며, 측정시 장비의 보호를 위해 고출력증폭기의 출력단에 40 dB/50 Watt 감쇠기를 삽입하여 측정하였다.

그림 14는 송신단에 40 dB 감쇠기를 부가한 상태에서 측정한 소신호 이득 및 위상을 나타낸다. 고출력증폭기는 1626.5 ~ 1646.5 MHz의 20 MHz 대역에서 36 dB이득과 ±0.5 dB의 이득편차도를 갖음을 나타낸다.

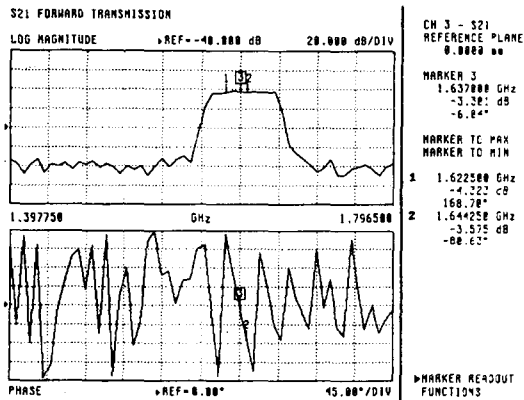


그림 14. 고출력증폭기의 소신호 이득
Fig. 14. A small-signal gain of the SSPA.

INMARSAT-C형 위성통신단말기의 고출력증폭기는 지상의 환경변화에 충분히 그 성능을 유지하여야 한다. 특히 온도의 변화가 심할 경우 온도에 따른 신뢰성을 갖는다는 것은 상당히 중요하다. 따라서 위성통신 시스템에 장착되는 모든 모듈은 온도에 따른 안정성을 판별하기 위한 실험이 필요하다. 본 논문에서 설계·제작한 고출력증폭기의 온도에 따른 전력안정도에 대한 측정결과를 그림 16에 나타내었으며, 그림 15는 실험에 사용된 Chamber의 온도주기를 나타낸다. 온도특성 실험 결과 송신이 시작된 후 15분 후에는 외부온도에 따른 출력전력의 변화가 없음을 보여준다.

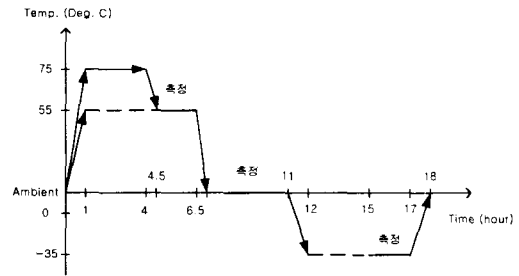


그림 15. 온도주기
Fig. 15 A temperature cycle.

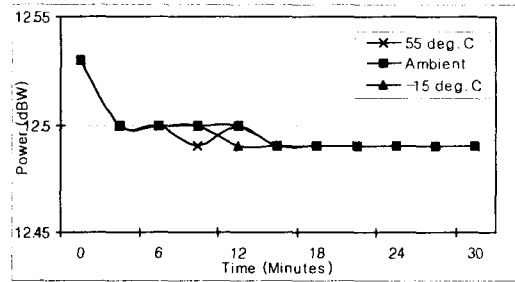


그림 16. 온도에 대한 출력 안정도
Fig. 16 Power stability over temperature.

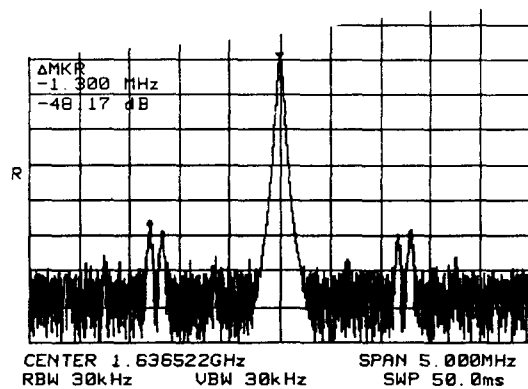


그림 17. 스퓨리어스 특성
Fig. 17 Spurious emission.

그림 17은 중심주파수 1636.5 MHz에서 입력신호 레벨을 +2 dBm을 인가하였을 때 스퓨리어스 특성을 측정한 결과로 캐리어 주파수대 스퓨리어스 모드비는 48 dBc이상으로 나타났으며, 그림 18은 입력신호레벨을 0 dBm을 인가 시켰을 때 출력신호레

벨이 43 dB임을 보여준다.

표 4는 SSPA 측정결과를 제시하고 있다. 제작된 SSPA는 모든 설계사양을 만족하며 우수한 선형성과 온도에 대한 출력의 안정성을 보였다.

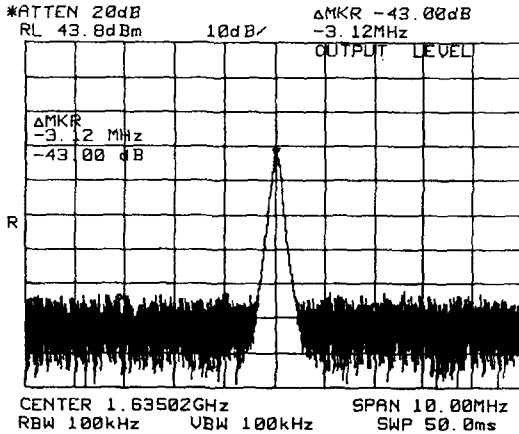


그림 18. 출력신호 레벨
Fig. 18 The output level.

표 4. SSPA 측정결과

Table 4. A result of SSPA test.

Item Description	Specification
Frequency Band	1626.5 ~ 1646.5 MHz
Output power	42.2 dBm min.
Linear Power Gain	36 dB min.
Gain stability over temperature	±0.05 dBW max. (-15~30℃)
Input & output VSWR	1.5:1 max.

그림 19은 기판 두께 31 mil, 유전율 4.8인 FR-4 기판을 사용하여 제작된 송수신단의 실물 사진을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 INMARSAT-C형 송신기에 사용 되는 L-BAND(1626.5 ~ 1646.5 MHz)용 전송장치

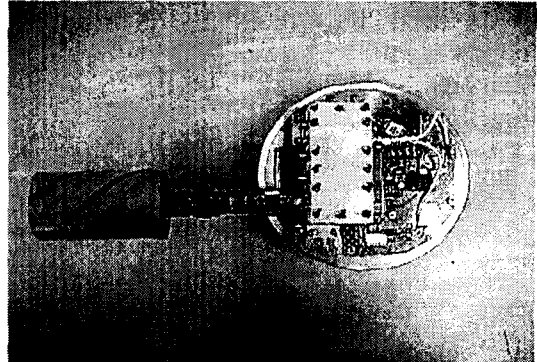


그림 19. 제작된 송수신단의 사진
Fig. 19 The photograph of the fabricated transmitter and receiver section.

로 사용될 수 있는 20 Watt 고출력 증폭기(High Power Amplifier)를 설계·제작하였다. 고출력증폭기는 유전율 4.8, 두께 31 mil인 FR-4 기판을 사용하여 구동단과 전력 증폭단을 단일 기판상에 집적화하였다. 전력 증폭부를 구동하기 위한 구동단은 HP사의 AT-41486을 사용하였으며, 전력 증폭단은 SGS-THOMSON사의 STM1645를 사용하여 RF부와 온도보상회로를 함께 집적화하였다. 제작된 전력증폭기는 20 MHz대역폭 내에서 소신호 이득이 36 dB 이상, 입·출력 정재파비는 1.5:1 이하이었다. 1635 MHz 주파수에 대해 출력전력이 43 dBm으로서 설계시 목표로 했던 출력전력 20 Watt를 얻었다.

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

참고문헌

- [1] D. Roddy, *Satellite Communications*, pp. 63-107, Prentice Hall, 1989.
- [2] L. Tetly & D. Calcutt, *Understanding GMDSS*, Edward Arnold, London, 1994.
- [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] Robert E. Collin, Foundation for microwave engineering, pp. 397-403, McGraw-Hill, 2nd edition, 1992.
- [5] John L.B. Walker. "High-Power GaAsFET Amplifier", Artech House, 1984
- [6] 임승하, 전자통신기기, pp. 115~134, 도서출판 광명, 1997.



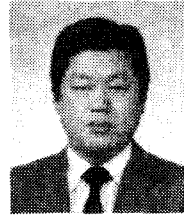
전 중 성(Joong-Sung Jeon)

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 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