

운반형 위성단말 고출력 상향 주파수변환기 설계 및 제작 BUC Design and Fabrication for Flyaway Satellite Terminal

김주연^{*}, 신관호^{**}

Joo-Yeon Kim^{*}, Kwan-Ho Shin^{**}

Abstract

This paper describes the design and fabrication of a BUC(Block Up-converter) which is a component of a FST (Flyaway Satellite Terminal), one of the ET(Earth Terminal) of the military satellite. BUC is physically composed of an up-converter module, a high power amplifier module, a receive band suppression filter, a housing, and a cable assembly. It was designed using simulator AWR to satisfy the electrical characteristics of BUC's such as maximum output power, gain, unwanted signal, and intermodulation. The maximum output power and gain characteristics were measured at 43.4dBm and 51.8dB, respectively. The unwanted wave and intermodulation characteristics were -73.5dBc and -31.9dBc, respectively. Of the electrical requirements of Table 1, not only the above four but also all of the items were confirmed to be satisfied.

요약

본 논문은 군 위성의 지상 단말 중 하나인 운반형 위성단말의 구성품인 고출력상향주파수변환기의 설계 및 제작에 관해 기술하였다. 고출력상향주파수변환기는 물리적으로 상향변환모듈, 고출력증폭모듈, 수신대역억제필터, 기구, 케이블조립체로 구성된다. 고출력상향주파수변환기의 전기적 요구 규격인 최대 출력 전력, 이득, 불요파, 상호변조 등의 전기적 특성을 만족하기 시뮬레이터(AWR)를 이용하여 설계하였다. 최대 출력 전력, 이득 특성은 각각 43.4dBm 및 51.8dB로 측정되었고, 불요파, 상호변조 특성은 각각 -73.5dBc 및 -31.9dBc로 측정되었다. 표 1의 전기적 요구 사항 중 상기 4가지 뿐만 아니라 다른 항목에 대해서도 모두 만족함을 확인하였다.

Key words : BUC, HPA, Up-Converter, Flyaway Satellite Terminal, Satellite Communication

1. 서론

위성 통신은 그림 1과 같이 지상의 단말(ET : Earth Terminal)과 다른 지상의 단말을 위성을 이용하여 음성 및 정보(Data)를 주고 받는 통신 형태이다[1].

군 위성 통신 체계는 통신 용도에 따라서 그림 2와 같이 여러 형태의 지상 단말로 구성된다. 특히 운반형 위성단말(Flyaway Satellite Terminal)은 망 구조상 분산망으로 운용되는 단말이다[2].

* Satellite.Datalink Team, Hanwha Systems.

** Agency for Defense Development

★ Corresponding author

E-mail : jy8317.kim@hanwha.com, Tel : +82-31-8091-7440

Manuscript received Feb. 21, 2020; revised Mar. 18, 2020; accepted Mar. 20, 2020.

※ Acknowledgment

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

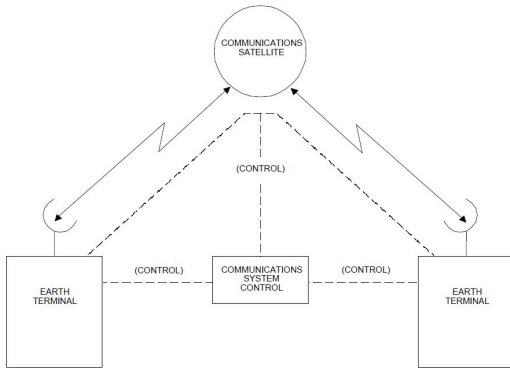


Fig. 1. Basic Satellite communication system.
그림 1. 기본 위성 통신 시스템

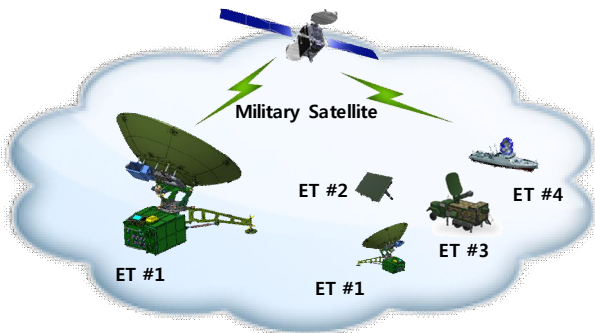


Fig. 2. Military Satellite Communication System.
그림 2. 군 위성 통신 시스템

본 연구에서 설계된 BUC와 BUC가 장착되는 운반형 위성단말의 형상은 그림 3과 같다. 운반형 위

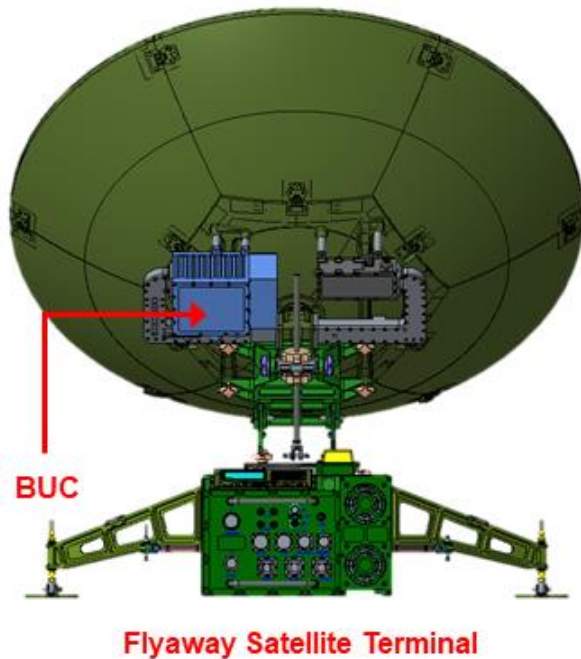


Fig. 3. Flyaway Satellite Terminal and BUC Shape.
그림 3. 운반형 위성단말 및 BUC 형상

성단말은 군 지휘 통제용 단말로서 차량 등에 적재하여 이동 후 통신병 2인이 운반하여 고정 설치 후 IP기반 음성, 데이터 및 영상서비스를 군 위성중계기를 이용하여 제공하는 역할을 한다[2].

본 논문에서는 망 구조에 관한 부분은 제외하고, 단지 위성의 상호 운용성에 관한 표준 문서에서 제시한 전기적 규격과 운반형 위성단말의 물리적인 인터페이스를 고려한 BUC의 설계 및 제작에 관해서만 논의하고자 한다[1][2].

II. 요구 성능 및 구성

1. BUC 요구 성능

본 논문에서는 위성의 상호 운용성에 관한 표준 문서인 'MIL-STD-188-164'에서 제안하는 전기적인 규격을 기준으로 운반형 위성단말에서 요구되는 전기적 규격과 물리적인 외부 인터페이스를 충족하는 규격을 표 1과 같이 정의하였다.

Table 1. BUC Requirement.

표 1. BUC 요구사항

Parameters		Value	Unit
RF Frequency	Tx	7.9~8.4	GHz
	Rx	7.25~7.75	GHz
Gain		> 50	dB
Gain Flatness		< 2.6	dB
Maximum Output Power		> +43	dBm
Spurious		< -60	dBc
Harmonic		< -60	dBc
Inter Moudulation		< -25	dBc
Phase Noise		-62(@100 Hz) -72(@1kHz) -82(@10kHz) -92(@100 kHz) -100(@1MHz)	dBc (@offset)
IF Input	Frequency	950~1450	
	Level	-35 -5	
Ref Signal		10/+5±2dB	MHz/dBm

BUC의 RF 송신 주파수는 운반형 위성단말에서 요구되는 X 대역, IF 수신 주파수는 L 대역으로 적용하였다. BUC의 Gain(이득) 및 Maximum Output Power(최대출력전력)는 IFM과 연결되는 케이블 손실과 안테나를 포함한 운반용 단말의 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power) 규격을 만족하기 위해 각

각 50dB 이상, +43dBm 이상의 규격으로 정하였다.

IF Input과 Ref Signal은 BUC의 입력조건이면서 IFM의 출력 조건으로 별도의 설계 항목은 아니다.

2. BUC 구성

BUC의 전기적 내/외부 구성은 그림 4와 같다. BUC는 외부의 IFM(Inter Frequency Module)에서 IF 신호와 10MHz Reference 신호를 입력받아서 UCM (Up-Converter Module)을 통해 X 대역으로 주파수 상향변환, 증폭, 대역 외 불필요한 신호를 제거한 후 HPAM(High Power Amplifier Module)을 통해 최대 출력을 얻을 수 있도록 RF(Radio Frequency) 부를 구성하였다. 또한 송신 주파수 성분이 수신 주파수로 넘어가는 양을 최소화하기 위해 BUC의 종단에 RRF(Receive Reject Filter)를 적용하여 최종 송신 신호를 ANT(안테나)로 전달하게 된다.

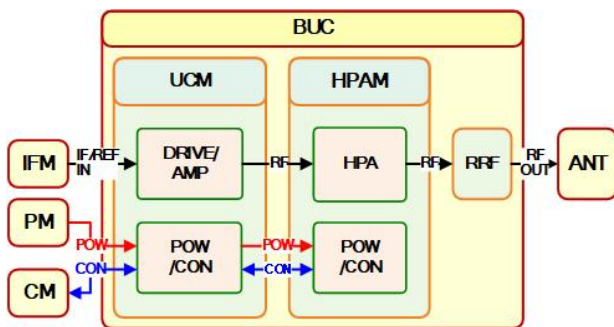


Fig. 4. Interface of BUC.
그림 4. BUC 인터페이스

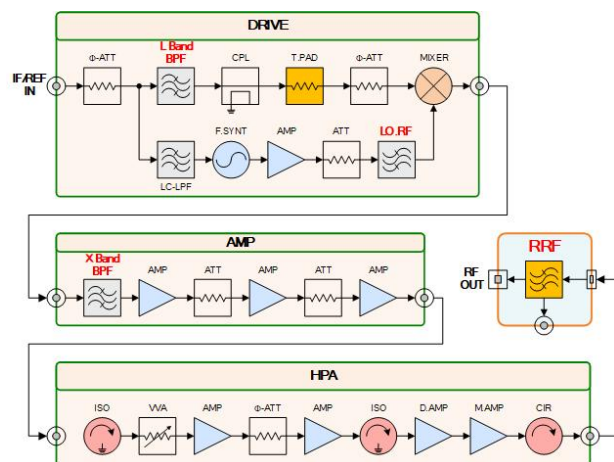


Fig. 5. Detail configuration of BUC.
그림 5. BUC 상세 구성

전원은 외부의 PM(Power Module)에서 +6VDC 와 +10.5VDC를 공급받아서 BUC 내부의 각 모듈

의 전원부(POW)에서 해당 부품들이 필요로 하는 전압으로 변환하여 공급하고, 제어 및 상태 정보를 CM(Control Module)과 주고받는다.

그림 5의 BUC 상세 구성에서 보듯이 UCM 내부에 BPF(Band Pass Filter), LO(Local Oscillator) Rejection Filter를 두어 주파수 상향 변환 시 발생하는 대역 내/외의 불요신호를 제거하고, 종단에 RRF를 두어 최종적으로 BUC 출력에서 Spurious와 Harmonic 규격을 만족할 수 있도록 설계하였다.

III. 전기적 특성 분석 및 설계

운반형 위성단말은 그림 2와 같이 군 위성을 통해 다른 지상 단말과 통신이 이루어지는데, 이때 송신부의 최종단인 BUC에 요구되어지는 주요 요구 사항은 이득 및 최대출력파워이다. BUC는 그림 5와 같이 IFM에서 입력된 L 대역 신호를 UCM을 통해서 X 대역으로 주파수 상향 변환 및 증폭하고, HPAM을 통해서 최종적으로 송신 신호를 증폭하여 안테나로 전달한다.

이득 및 최대 출력 전력 요구 조건을 만족하면서 표 1의 다른 요구 조건을 만족하기 위해 NI(National Instruments)사의 AWR을 이용하여 설계하였다[3][4]. BUC의 전기적 특성 분석을 위한 회로도도는 그림 7과 같고, 이득, 최대출력전력, 불요파(하모닉 포함), 상호변조억압도 등의 특성을 확인하였다. BUC의 이득 특성은 그림 6과 같이 51.6dB로 요구사항인 50dB 이상을 만족하도록 설계하였다. 이때의 입력 신호 크기는 -13dBm로 IFM의 신호 레벨 범위 안에 있으며, BUC의 선형 영역에서 동작하는 특성이다.

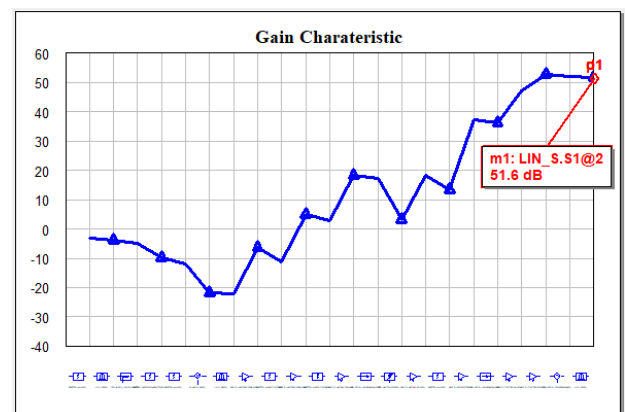


Fig. 6. Gain simulation result of BUC.
그림 6. BUC 이득 결과

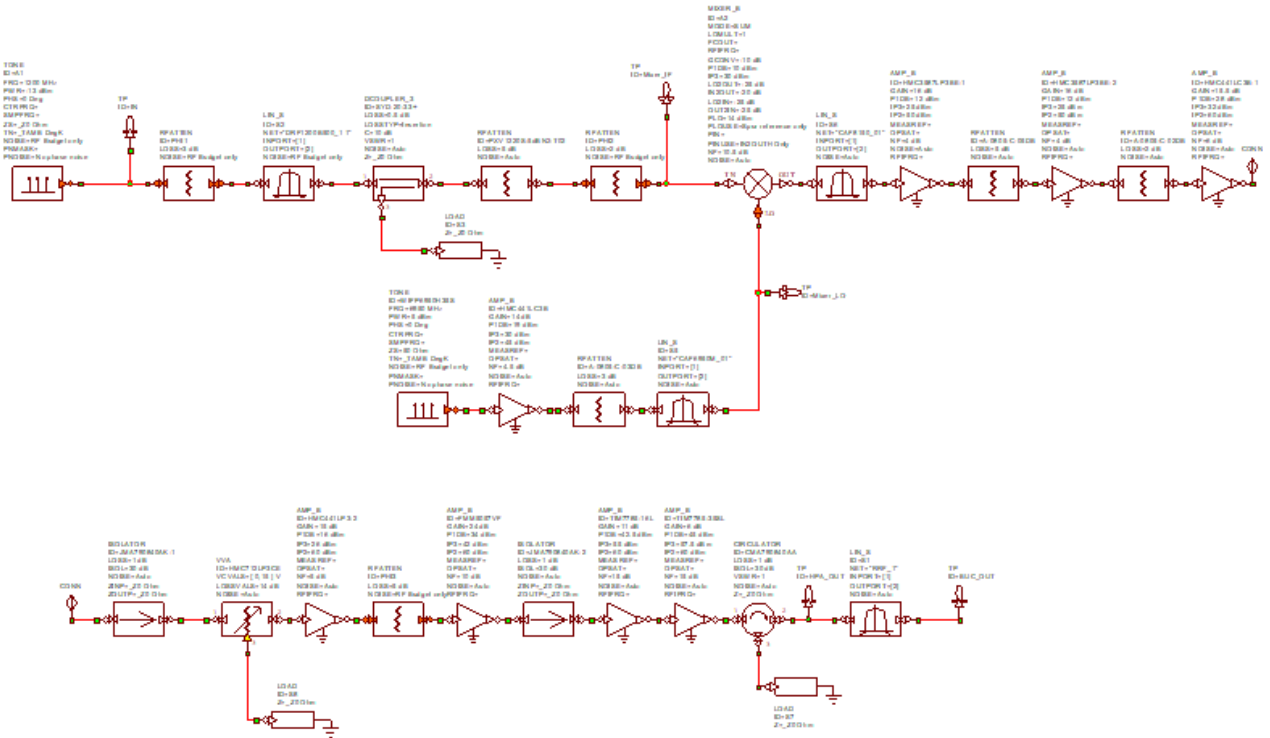


Fig. 7. Analysis circuit of BUC.
그림 7. BUC 해석 회로도

BUC의 최대 출력 특성은 입력 신호가 -7dB 일때의 특성으로 그림 8과 같이 44dBm 으로 요구 사항인 $+43\text{dBm}$ 이상을 만족하였고, 이때 불요파Spurious 특성은 -60dBc 이하임을 확인 할 수 있다. 이득 평탄도를 만족하기 위해 PCB Layout에 정합할 수 있는 튜닝 포인트를 반영하였다.

사항인 -25dBc 이하를 만족하도록 설계하였다.

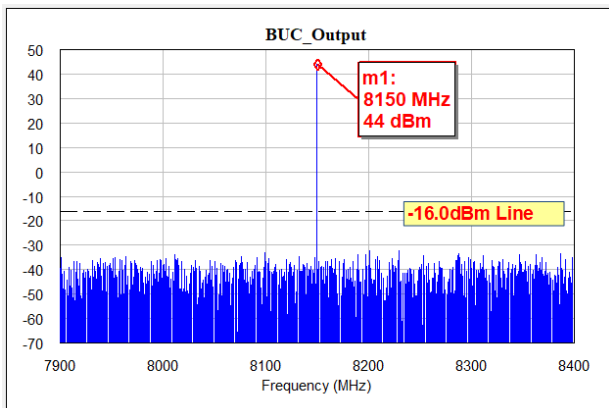


Fig. 8. Maximum Output Power & Spurious simulation result of BUC.
그림 8. BUC 최대출력 및 불요신호 해석 결과

BUC의 IMD(Inter-Modulation Distortion) 특성은 그림 9와 같이 약 -32.792dBc ($m1-m2$)로 요구

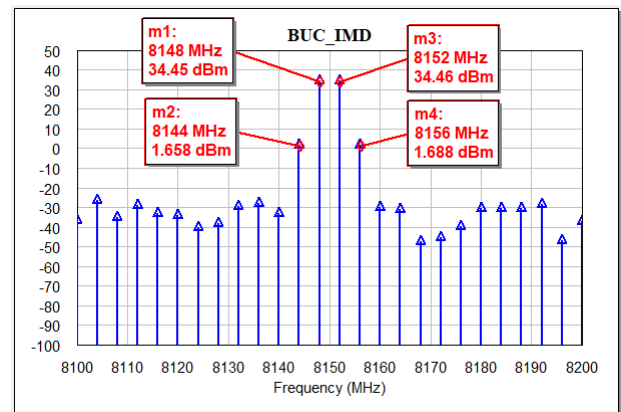


Fig. 9. IMD simulation result of BUC.
그림 9. BUC 상호변조왜곡 해석 결과

BUC의 Spurious와 Harmonic 규격을 만족하도록 표 2~5와 같이 BPF 2중, LO Rejection Filter, RRF는 세부 규격을 적용하여 설계하였다. Filter 4종을 제외한 모든 부품들은 동작 온도, 각 소자별 전기적 특성을 고려하여 상용 부품 중에서 적절히 선택하여 적용하였다. BPF는 IFM 모듈의 입력 신호의 Spurious 및 Harmonic 성분을 제거하기 위한 L 대역용과, 상향 주파수 변환이 된 후 발생하는 Spurious

및 Harmonic 성분을 제거하기 위한 X 대역용의 2종으로 적용하였다.

Table 2. L Band BPF Requirement.

표 2. L 대역용 대역통과필터 요구사항

Parameters	Value	Unit
Frequency	950~1450	MHz
Inwertion Loss	< 2.5	dB
VSWR	< 1.5:1	-
Rejection	>40@1950~2900MHzz	dBc
In/Out Interface	Drop-In	-

Table 3. X Band BPF Requirement.

표 3. X 대역용 대역통과필터 요구사항

Parameters	Value	Unit
Frequency	7.9~8.4	GHz
Inwertion Loss	< 1.0	dB
VSWR	< 1.5:1	-
Rejection	>50@ 6.95GHz >60@15.8~16.8GHz	dBc
In/Out Interface	Drop-In	-

Table 4. LO Rejection Filter Requirement.

표 4. 국부발진기 제거용 필터 요구사항

Parameters	Value	Unit
Center Frequency	6950	MHz
Inwertion Loss	< 1.0	dB
VSWR	< 1.5:1	-
Rejection	> 40@ 13.9GHz	dBc
In/Out Interface	Drop-In	-

물리적으로 L 대역 BPF는 Soldering 작업이 가능한 형태이고, X 대역 BPF와 LO Rejection Fiter는 기구물에 나사를 이용하여 고정하고, PCB에 입/출력 Pin이 Soldering 되는 형태의 Drop-In 형태로 구성된다. RRF는 입/출력은 모두 X 대역용 도파관의 하나인 WR112 형태로 구성된다. 하지만 RRF는 세부적으로 연결되는 형태가 입력은 UG-CHOKE 이고, 출력은 CPR112G 형태로 구성된다. RRF는 운반형 위성단말이 동작하는 동안 송신 신호가 안테나를 통해 정상적으로 출력되는지 여부를 확인할 수 있는 Sampling Port를 보유하고 있다.

Table 5. RRF Requirement.

표 5. 수신대역역제필터 요구사항

Parameters	Value	Unit
Frequency	7.9~8.4	MHz
Inwertion Loss	< 1.0	dB
VSWR	< 1.5:1	-
Rejection	>100(@7.25~7.75GHz)	dBc
In/Out Interface	IN : WR112, UG-CHOKE OUT : WR112, CPR112G	-
Sampling Port	30±2	dB

BUC는 물리적으로 그림 10에서 보듯이 주하우징과 RRF로 구성이 된다. 주하우징의 측면에 냉각을 위한 방열팬이 위치한다.

주하징 내부에 UCM과 HPAM이 2단의 적층형태로 구성되고, 상부에 외부 IFM, PM, CM 모듈과 연동할 수 있는 커넥터가 위치한다. BUC의 최종 출력 단자인 RRF의 출력은 CPR112G 형태로 안테나와 연결될 수 있는 구조로 설계하였다.

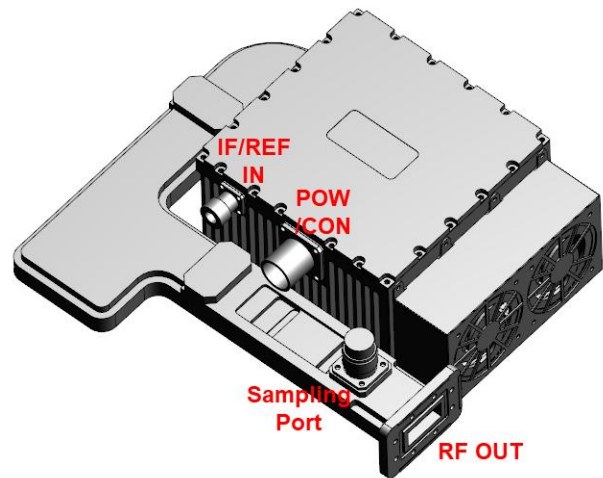


Fig. 10. Housing of BUC.

그림 10. BUC 기구물

IV. BUC 제작 및 성능 확인

본 장에서는 제작된 BUC의 형상 및 측정 결과에 대해서 언급하고자 한다.

그림 11은 제작된 BUC의 외부 형상이고, 그림 12와 그림 16은 각각 UCM과 HPAM의 내부 형상이다.

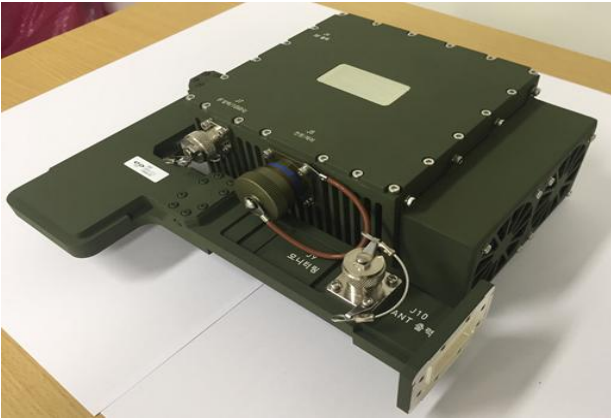


Fig. 11. Photograph of BUC.
그림 11. BUC 사진

그림 12에서 보듯이 UCM에는 3개의 설계된 Filter가 제작되어 적용되었다. 각 측정결과는 그림 13~그림 15와 같으며, 표 2~표 4에서 각각 요구하는 조건을 모두 만족함을 확인 할 수 있었다.



Fig. 12. Photograph of UCM.
그림 12. UCM 사진

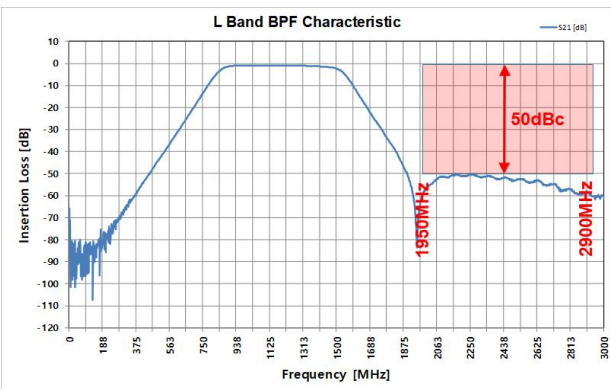


Fig. 13. L Band BPF Test Result.
그림 13. L 대역 대역통과필터 측정 결과

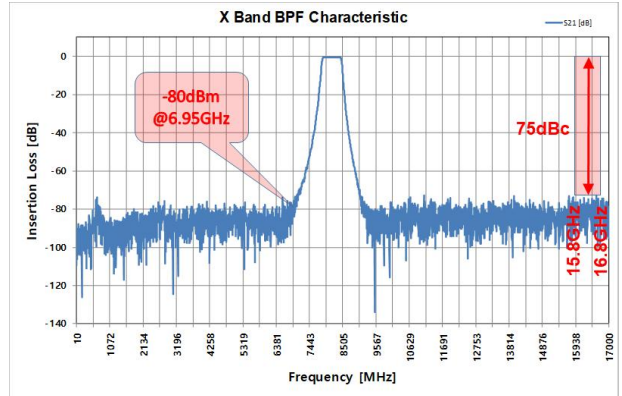


Fig. 14. X Band BPF Test Result.
그림 14. X 대역 대역통과필터 측정 결과

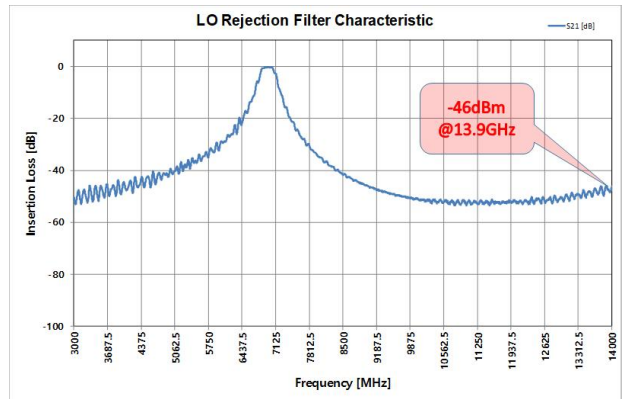


Fig. 15. LO Rejection Filter Test Result.
그림 15. LO 제거용 필터 측정 결과

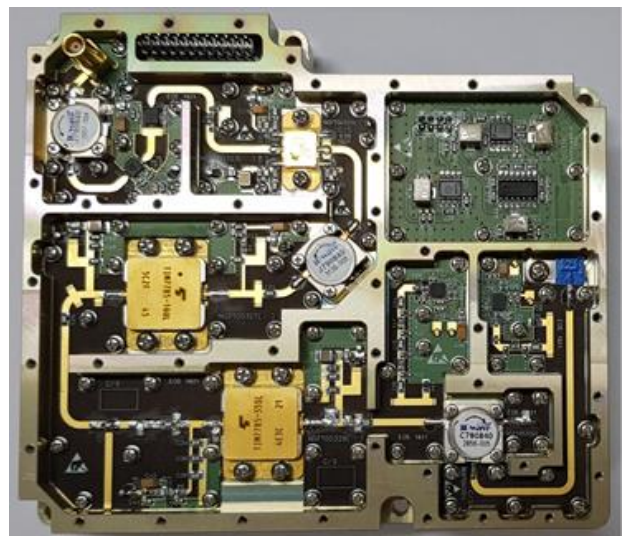


Fig. 16. Photograph of HPAM.
그림 16. HPAM 사진

그림 17은 RRF의 형상으로, BUC의 출력단에 적용되었다. 측정결과는 그림 18과 같으며, 표 5에서 요구하는 조건을 모두 만족함을 확인 할 수 있었다.

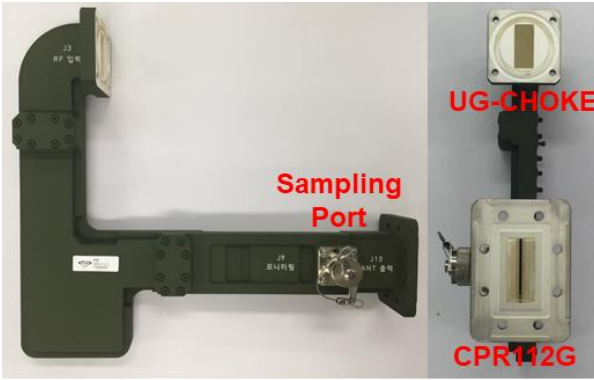


Fig. 17. Photograph of RRF.
그림 17. 수신대역역제필터 사진

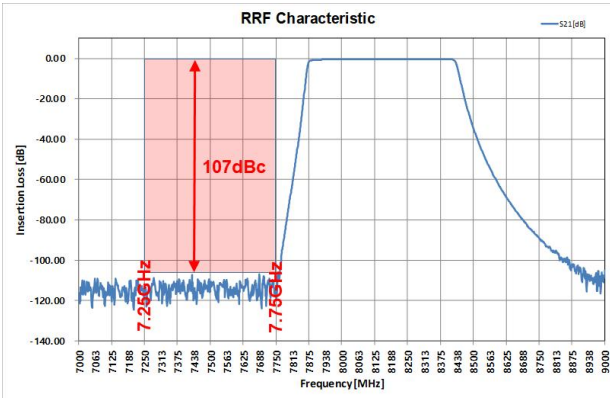


Fig. 18. RRF Test Result.
그림 18. 수신대역역제필터 측정 결과

표 1의 BUC 요구조건 중 주파수(RF, IF)와 Ref Signal은 시험 항목의 입, 출력 조건이어서 별도로 시험을 하지는 않고, 이 조건에서 다른 항목들에 대한 특성을 확인하였다. 이득 평탄도를 제외한 항목들은 7,9GHz(시작주파수), 8,15GHz(중심주파수), 8,4GHz(끝주파수)에서 성능을 확인하여 표 1의 요구조건을 모두 만족함을 확인하였지만 첨부된 결과는 8,15GHz(중심주파수)에서의 결과이다.

이득 및 이득평탄도는 Power Meter를 이용하여 측정하였고, 나머지 항목은 Spectrum Analyzer를 이용하여 측정하였다. 또한 최대출력파워를 제외한 항목들의 시험 시 입력은 -13dBm이고, 최대출력 시험 시 입력은 -10dBm에서 1dB 씩 증가시키면서 출력파워가 +43dBm을 만족하는지 확인하였다.

그림 19는 BUC의 이득 특성인데, 수식 (1)에 따라 계산을 하면 52.47dB로 요구조건인 50dB 이상임을 확인하였다.



Fig. 19. Gain Characteristic of BUC.
그림 19. BUC의 이득 특성

$$\text{이득} = \text{출력파워} - \text{입력파워} \quad (1)$$



Fig. 20. Maximum Output Power Characteristic of BUC.
그림 20. BUC의 최대출력파워 특성

BUC의 최대 출력 전력 특성은 그림 20과 같이 43.57dBm으로 표 1의 요구사항인 +43dBm 이상임을 확인하였다.

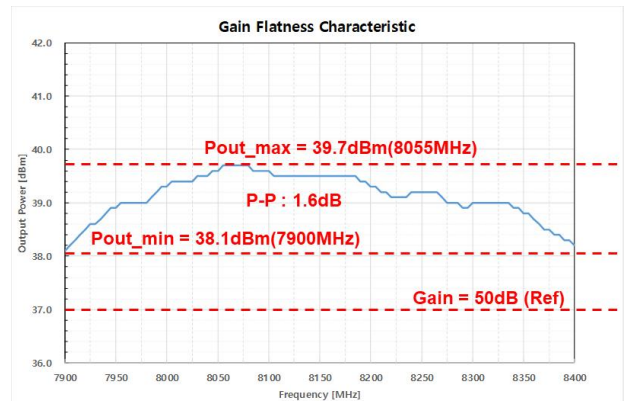


Fig. 21. Gain Flatness Characteristic of BUC.
그림 21. BUC의 이득 평탄도 특성

그림 21은 BUC의 이득 평탄도 특성인데, 7900MHz에서 8400MHz까지 5MHz 간격으로 입력조건을 변경하면서 측정한 결과로 500MHz 대역에서 1.6dB (Peak to Peak)로 요구조건인 2.6dB 이하를 만족함을 확인하였다.

BUC의 불요파와 하모닉 특성은 그림 22, 그림 23과 같이 각각 -73.546dBc, -85.38dBc로 표 1의 요구사항인 -60dBc 이하임을 확인하였다.

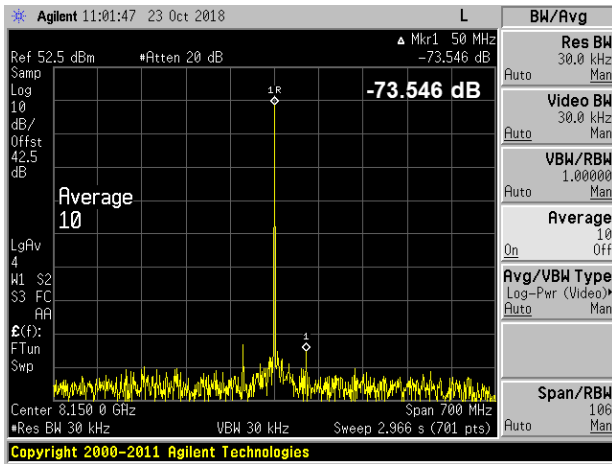


Fig. 22. Spurious Characteristic of BUC.
그림 22. BUC의 불요파 특성

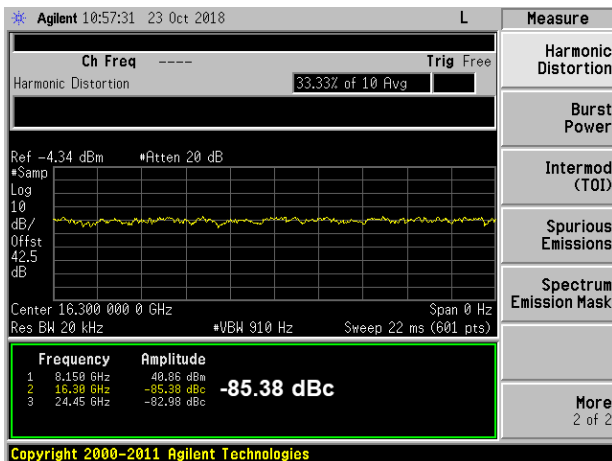


Fig. 23. Harmonic Characteristic of BUC.
그림 23. BUC의 하모닉 특성

BUC의 상호변조왜곡 특성은 그림 24와 같이 -31.94 dBc로 표 1의 요구사항인 -25dBc 이하임을 확인하였다.

BUC의 위상잡음특성은 그림 25와 같이 -79.41~

-118.77dBc로 표 1의 요구사항인 각 주파수 offset 별 조건을 만족함을 확인하였다.

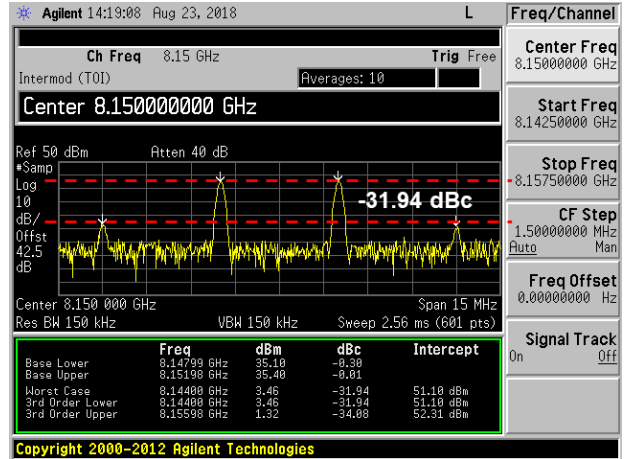


Fig. 24. IMD Characteristic of BUC.
그림 24. BUC의 상호변조왜곡 특성

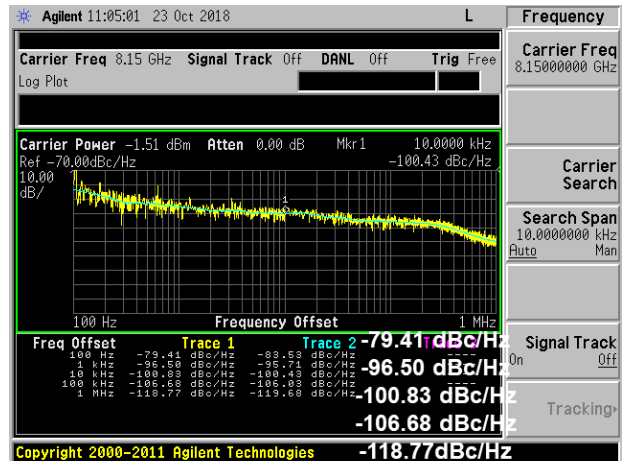


Fig. 25. Phase Noise Characteristic of BUC.
그림 25. BUC의 위상잡음 특성

V. 결론

본 논문에서는 군 위성의 지상 단말 중 하나인 운반형 위성단말에서 요구되는 송신부의 조건이 반영된 BUC를 설계하고, 이의 구현 결과에 대해 기술하였다.

BUC 제작 및 시험한 결과 최대 출력 전력, 이득 특성은 각각 43.4dBm 및 51.8dB로 측정되었고, 불요파, 상호변조 특성은 각각 -73.5dBc 및 -31.9dBc로 측정되었다. 표 1의 전기적 요구 사항 중 상기 4가지 뿐만 아니라 다른 항목에 대해서도 모두 만족함을 확인하였다. 따라서 설계 및 구현된 BUC의

효용성이 확인되어 운반형 위성단말의 구성품으로 적용될 수 있을 것이라 판단된다.

향후 운반형 위성단말에 장착하여 온도, 충격, 진동, 강우 등의 환경시험과 EMC(전자기적합성시험)을 수행할 예정이다. 또한 소형화 작업을 하고, 이를 바탕으로 이중화 구조로 확장을 한다면 다양한 단말에 적용이 가능할 것으로 기대한다.

References

- [1] *Interoperability of SHF Satellite communications Terminals*, Department of Defense Interface Standard, MIL-STD-188 164B, 2012.
- [2] Deok-Woo Lee, Sung-Jae Lee and Sung-Nam Choi, "Design and Implementation of Emergency Battery for Flyaway Satellite Terminal System," *KIIT*, Vol.15, No.9, pp.29-35, 2017.
DOI: 10.14801/jkiit.2017.15.9.29
- [3] Jong-Sung Kim, Moon-Kwan Bae and Joo-Yeon Kim, "High Power Amplifier Design and Fabrication for Tactical Data Link," *Journal of IKEEE*, Vol.21, No.4, pp.338-347, 2017.
DOI: 10.7471/ikeee.2017.21.4.338
- [4] Joo-Yeon Kim, "RF Transceiver Design and Implementation for Common Data Link," *Journal of IKEEE*, Vol.19, No.3, pp.371-377, 2015.
DOI: 10.7471/ikeee.2015.19.3.371

BIOGRAPHY

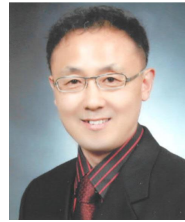
Joo-Yeon Kim (Member)



1999 : BS degree in Radio Communication Engineering, Korea Maritime University.
2001 : MS degree in Radio Communication Engineering, Korea Maritime University.

2008~ : Senior Engineer, Hanwha Systems.
Data Link System, Satellite Communication System, RF System.

Kwan-Ho Shin (Member)



1981 : BS degree in Electronic Engineering, HanYang University.
1998 : MS degree in Information and Communications Engineering, Chungbuk University.
2019 : PhD degree in Information and Communications Engineering, Chungbuk University.

1991~2020 : ADD Design of Satellite Communication System, Signal Processing, Rf Design etc.