

# Ka대역 위성통신용 fly-away 터미널 안테나 & RF 시스템 설계

박병준<sup>\*,1)</sup> · 김춘원<sup>1)</sup> · 윤원상<sup>1)</sup> · 이성재<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 삼성탈레스(주) 통신시스템그룹  
<sup>2)</sup> 국방과학연구소 제2기술연구본부

## An Antenna & RF System for Fly-away Satcom Terminal Application on Ka-band

Byungjun Park<sup>\*,1)</sup> · Chunwon Kim<sup>1)</sup> · Wonsang Yoon<sup>1)</sup> · SeongJae Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *The Communication System Group, Samsung Thales Co., Ltd., Korea*

<sup>2)</sup> *The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 10 January 2014 / Revised 2 May 2014 / Accepted 13 June 2014)

### ABSTRACT

An Antenna & RF system for a fly-away satcom terminal application on ka-band is presented in this paper. The Fly-away satellite terminal can be moved and operated by two person and adapt automatic satellite tracking system in order to decrease the tracking time. Additionally, for low-power consumption, compact size and light-weight, a dual reflector antenna is constructed using dual-offset gregorian antenna structure. For minimize weight, the reflector of the antenna is made of Magnesium. For low-power consumption and light-weight, the pHEMT MMIC compound devices is utilized. The Electronic Band-Gap(EBG) Low-Pass Filter(LPF) is designed for harmonic rejection. In the receiving part, Low-Noise Block converter(LNB) structure is designed for compact and light-weight. In this paper, fly-away satcom terminal with low-power consumption, compact size and light-weight is described with antenna system and RF system performances. Through the experimentation, fly-away terminal's EIRP is more than 50dBW, G/T is more than 17dB/K.

Key Words : Fly-away Satellite Terminal(운반용 위성단말), Antenna & RF system(안테나 & RF시스템), Dual-offset Gregorian(이중 오프셋 그레고리안), EBG LPF(EBG 구조의 저역필터)

### 1. 서론

오늘날 빠르게 발전된 통신 기술에 따라 주파수 대역의 수요량이 증가함으로써 이용 가능한 주파수 대역이 점점 줄어들고 있다. 특히 저주파 및 고주파 대역의 경우는 이미 각 주파수 대역 별로 법적으로 할당되어 있으므로 이용에 제약이 따르게 된다. 이에 따

\* Corresponding author, E-mail: byungjun8282.park@samsung.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

라 이동 통신뿐만 아니라 위성통신에서도 microwave에 대한 적용 및 개발이 증가되고 있다. 위성 통신은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 지상의 단말 또는 지구국에서 송신된 신호를 위성을 통해 다시 지상으로 재송신하여 대향 단말 또는 지구국에서 수신하게 되며, 위성체의 궤도높이에 따라 저궤도, 중궤도, 정지궤도 통신으로 구분할 수 있다. 위성 통신은 기존의 선로 망을 이용하는 것보다 신호 전송의 비용이 싸고 새로운 선로 망 구축이 쉬우며, 원거리 통신을 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 위성 통신, 특히 정지궤도 통신시스템의 경우 우주국 정지위성과 지구국 위성단말 간 거리가 수 만 km 이상이어서 거리와 기후에 따른 송수신 신호의 감쇄가 매우 크다. 또한 우주국의 많은 위성 중 상호 간 간섭 없이 목표 위성으로만 신호를 송/수신하여야 하기 때문에 안테나와 RF시스템의 설계가 매우 중요하다<sup>[1,2]</sup>.

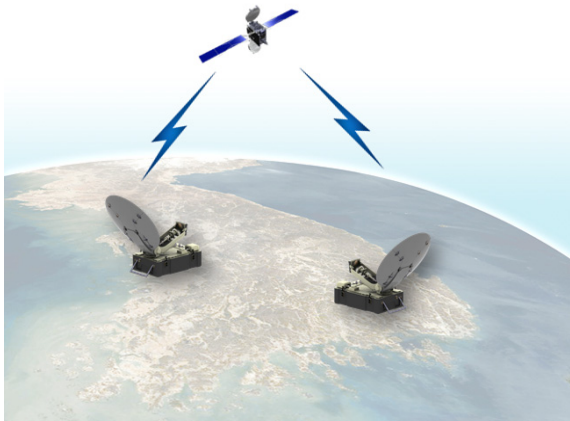


Fig. 1. The operational concept of the fly-away satellite terminal communication

본 논문에서 설계한 Ka대역 fly-away 터미널은 2인이 고정 설치하여 운용하는 위성단말로 장비의 이동, 설치, 운용 간 사용자의 편의성을 향상시키기 위하여 소형 경량화 및 저전력화가 중요하다. 이를 위해 안테나 시스템에서는 이중음색 그레고리안 타입의 반사판 안테나 구조를 적용하여 부피를 최소화하였고, 반사판 재질은 마그네슘을 사용하여 알루미늄을 적용하는 경우보다 무게를 40% 경량화하였다. RF 시스템 송신부에서는 traveling-wave tube amplifier(TWTA) 대신 병렬 구조의 monolithic microwave integrated circuit(MMIC)를 이용하여 소형 경량화 하였으며, EBG 구

조의 LPF를 적용하여 불요파 및 고조파 제거 특성을 향상시켰다. 수신부에서는 삽입손실 최소화를 위하여 isolator를 LNB 전단에 설치하였으며 상용필터 소자 대신 microstrip filter를 적용하여 소형 경량화 하였다.

본 논문의 2장에서는 fly-away 터미널의 안테나와 RF 시스템 개요 및 설계 내용을 기술하였다. 설계된 안테나와 RF 시스템의 구현 및 측정결과를 3장에서 기술하고, 4장에서 결론을 맺었다.

## 2. 본 론

본 논문에서 제안한 fly-away 터미널의 안테나 시스템과 RF 시스템의 구성은 Fig. 2에 나타난 것과 같다. IF 대역의 송신 신호가 RF 시스템의 송신부 입력단에 입력되어 상향변환부를 거쳐 Ka대역 신호로 변환되며, 이를 고출력증폭부에서 증폭하게 된다. 고출력증폭부를 통해 증폭된 신호는 안테나 시스템의 직교모드변환기(orthomode transducer, OMT), 편파기, 급전훈 및 반사판을 통해 위성으로 송신된다. 위성에서 반사판을 통해 급전훈으로 입력된 Ka대역 수신신호는 RF 시스템의 LNB를 거쳐 저잡음증폭 및 주파수 하향변환되어 IF 대역의 신호로 변환된다. 본 논문을 통해 제안하는 fly-away 터미널 송신부의 EIRP 목표성능은 50dBW이며, 수신부의 G/T 목표성능은 17dB/K이다.

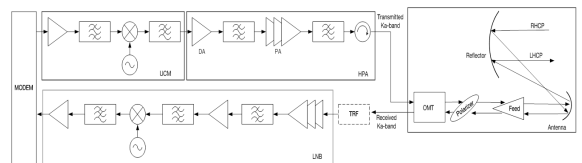


Fig. 2. The antenna & RF system architecture of the fly-away satellite terminal

### 2.1 안테나 시스템 설계

본 논문에서 제안한 Ka대역 fly-away 터미널 안테나 장치는 위성으로부터 Ka대역 신호를 수신하여 LNB로 보내고, 고출력증폭반으로부터 Ka대역 송신 신호를 받아 위성을 향하여 방사 시키는 장치로서 직교모드변환기, 편파기, 급전훈, 주/부반사판으로 구성된다.

Fly-away 터미널 안테나의 주요 설계 목표는 ITU 권고안과 MIL-STD-188-164A의 내용을 참고하여 Table 1과 같이 설정하였다<sup>[6]</sup>.

Table 1. Target performances of the proposed antenna system

Parameter		Target	Measured
Frequency		Ka-band	Ka-band
Antenna Gain	Tx	44.0dBi	45.7dBi
	Rx	41.5dBi	42.0dBi
Co-pol/Cross Pol		ITU-R	ITU-R
Antenna Noise Temperature		150°K	134.7°K
편파특성	Tx	LHCP	LHCP
	Rx	RHCP	RHCP
축비		1.5dB이하	1.4dB
정재파비		1.5:1이하	1.4:1이하

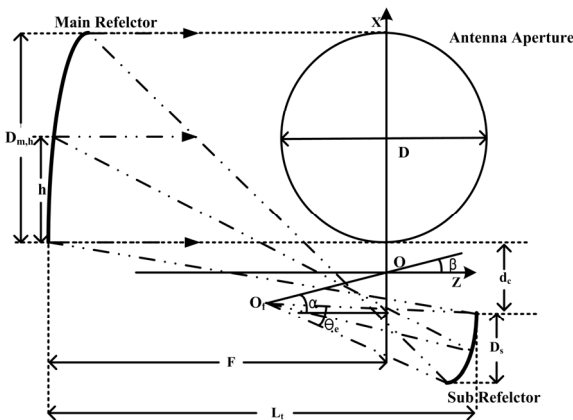


Fig. 3. The geometry of the dual offset Gregorian antenna

2.1.1 반사판(Reflector) 설계

본 논문에서 제안된 안테나는 Fig. 3과 같이 소형화를 위하여 타원형 이중우렛 그레고리안 타입의 반사판 안테나 구조를 적용하였다. 일반적인 파라볼라 안테나의 경우 초점 거리에 의해 부피가 커지는 단점이 있으나, 제안된 안테나 시스템의 경우 이중 반사판 구조를 적용하기 때문에 일반 파라볼라 안테나에 비해 전체적인 안테나 높이를 낮게 하는 장점이 있다. 안테나 반사판 설계는 주반사판의 개구면적 및 지름을 구하고, 이를 이용하여 부반사판 크기, 급전혼 조사각, 급전혼 회전각, 축회전각 등을 결정하게 된다. 제안된 안테나 주반사판의 유효 개구면 면적(D)은 식 (1)에 의

해 결정되며, 개구면 효율( $\epsilon_{ap}$ ) 50%를 기준으로 송신이득 44.0dBi, 수신이득 41.5dBi를 만족하도록 하기 위한 반사판 지름은 0.75m로 결정되었다<sup>[7]</sup>.

$$G = \epsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} A = \epsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi D_m^2) \tag{1}$$

본 논문에서는 fly-away 터미널 본체에 안테나가 장착가능 하도록 길이 619.13mm, 부반사판의 크기 185 mm, 급전혼 조사각은 37°, 축회전각  $\beta$ 는 53.207°, 급전혼 회전각을  $\alpha$ 는 77.206°로 하였다<sup>[8]</sup>.

2.1.2 혼(Horn) 설계

반사판 안테나의 이득과 ITU-R의 방사패턴 요구 조건을 만족시키기 위하여 광대역에서 원형대칭의 낮은 부엽 특성을 갖는 Fig. 4 (a)와 같은 코러게이트 타입 급전혼을 설계하였다. 설계된 급전혼 구조는 입력도파관에 여기되는 TE<sub>11</sub>모드를 급전혼 내부 taper각에 의하여 TM<sub>11</sub>모드를 생성하고 내부 코러게이트의 너비와 길이, 간격에 의하여 TE<sub>10</sub>모드 등 다양한 모드를 추가 생성하여 개구면에서 HE<sub>11</sub>모드를 구현시키게 된다. HE<sub>11</sub>모드는 개구면에서 전방향으로 신호를 고르게 분포하는 특성을 갖는다. 이는 대기중으로 전파를 방사하여 원형 대칭의 방사패턴과 낮은 부엽, 높은 교차편파 분리도 특성을 구현하게 한다<sup>[9]</sup>. 본 논문에서는 2.1.1장의 형상설계 결과 급전혼 조사각 37°를 만족하고 spill-over 전파는 ITU-R 요구조건을 만족하도록 설계하였다.

2.1.3 편파기 (Polarizer) 설계

Fly-away 터미널의 송신 LHCP, 수신 RHCP 생성과 MIL 규격의 송수신 축비 성능을 만족시키기 위하여 광대역에서 축비 성능이 우수한 주름형 편파기를 Fig. 4 (b)와 같이 설계하였다. 주름형 편파기는 입력포트에 선형편파 인가 시 출력포트에 원형편파가 생성되게 하는 구성품이다. 원형편파의 생성원리는 사각도파관 광벽에 주름진 홈을 만들어 입력포트에 인가된 선형신호를 수직편파와 수평편파로 나누고 편파 간 크기 차는 0dB, 위상차는 90°에 가깝게 하여 송신대역 좌현편파와 수신대역 우현편파를 생성 시키는 장치이다. 본 fly-away 터미널의 편파기는 MIL-STD-188-164A를 만족시키기 위하여 축비 1.5dB이하, 정재파비 2.0:1 이하가 되도록 설계하였다<sup>[10]</sup>.

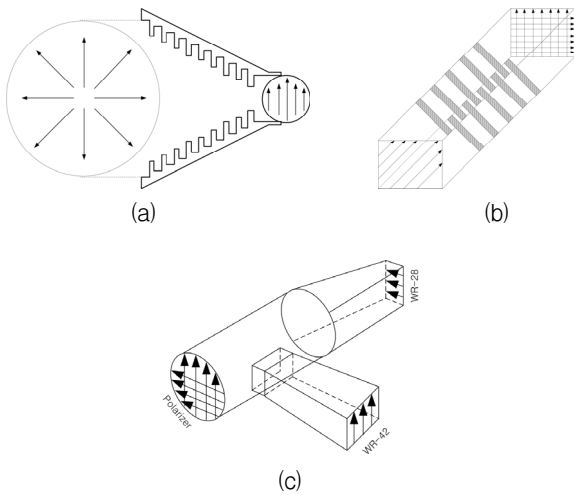


Fig. 4. The geometry of the antenna feeding structures, (a) Corrugated horn, (b) Square waveguide iris polarizer, (c) Ortho-mode transducer

### 2.1.4 직교모드변환기(OrthoMode Transducer) 설계

Fly-away 터미널의 Ka대역 위성 송수신 신호를 분리하기 위하여 Fig. 4 (c)와 같은 직교모드변환기를 사용하였다. 직교모드변환기는 편파기와 연결되어 수직, 수평편파가 공존하는 원형도파관의 수직방향에 WR-28 사각도파관과 수평방향에 WR-42 사각도파관을 삽입하여 송수신신호를 분리하는 구조이다. 이때 원형도파관 타입의 공용포트는 Ka대역의 송, 수신대역 모두를 통과할 수 있는 크기로 설계하고 송수신 포트는 각각 송신, 수신 신호만 전파가 전달되도록 하였다. 송신, 수신, 공용 포트는 계단형 임피던스 정합구조와 결합슬롯을 이용하여 정재파비가 1.5:1이하, 송수신 신호 분리도 -25dB이하가 되도록 설계하였다<sup>[11]</sup>.

## 2.2 RF 시스템 설계

### 2.2.1 송신부 설계

Ka대역 fly-away 터미널 송신부는 고출력증폭반과 상향변환반으로 구성된다. 고출력증폭반의 TWTA는 TWT와 이를 구동하기 위한 HVPS(EPC)로 구성되기 때문에 고출력을 송신하기에 좋은 장점을 갖지만, 크기가 크고, 무거운 단점을 갖는다. SSPA는 크기가 작고, 가벼운 장점을 갖지만 고출력 송신의 단점을 갖는다. 따라서, 본 논문에서 제안된 고출력증폭반은 소형/경량화의 장점을 갖는 병렬구조의 pHEMT MMIC를

이용한 SSPA를 설계하였다. 단일 MMIC의 출력이 36 dBm이므로 이를 병렬로 하여 TWTA에 비해 소형 경량화 및 높은 선형성을 갖도록 설계하였으며 고조파 및 상호 변조 왜곡 억압을 위하여 EBG 구조의 하모닉 필터와 저손실의 microstrip to waveguide transition을 적용하여 설계하였다. EBG 구조의 하모닉 필터의 경우 기존의 PCB micro-strip line으로 구현이 되기 때문에 수동소자 LC필터에 비해 별도의 매칭 회로가 불필요하며 별도의 소모성 소자가 들어가지 않으므로 소형/경량화의 강점을 갖는다. 설계된 고출력증폭기는 Ka대역의 주파수 신호 감쇠를 최소화하고 고조파 성분 감쇄는 최대화하기 위하여 EBG 구조의 LPF를 설계하였다. EBG 구조는 Bragg 격자 원리로부터  $2\Lambda$ 에 해당하는 주파수를 중심으로 저지대역을 형성되는 역할을 한다. 격자의 주기  $\Lambda$ 는 식 (2)와 같다.

$$\Lambda = \frac{\lambda_g}{2}, \lambda_g(f) = \frac{v_p(f)}{f} = \frac{c}{f \sqrt{\mu_r \epsilon_r, eff}(f)} \quad (2)$$

Fig. 5는 EBG LPF에 따른 harmonic rejection 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 고출력증폭기는 높은 출력만을 갖는 PA소자를 이용하게 되면 상대적으로 낮은 이득으로 인하여 입력 파워레벨을 만족하지 못하게 되어 원하고자 하는 전력을 전달할 수 없다. 설계된 고출력증폭기는 이러한 문제점을 해결하기 위해 PA 소자 앞 단에 원하고자 하는 입력 신호 전력 충족을 위하여 DA소자를 이용하였다. DA소자는 저전력/고이득의 특성을 갖는다.

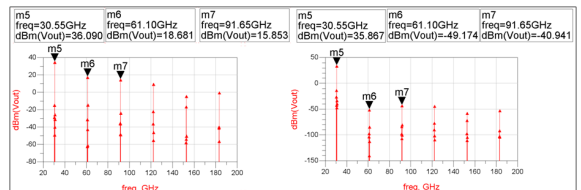


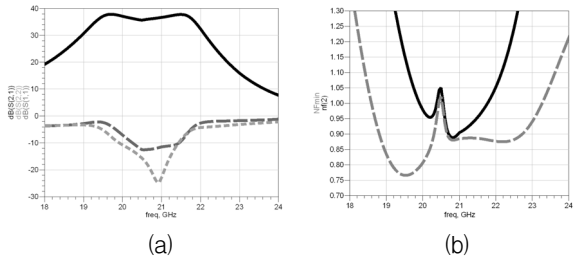
Fig. 5. The harmonic rejection of the EBG LPF simulation result

상향변환반은 중간주파수를 Ka대역으로 상향변환하는 기능을 수행하며 신호레벨 증폭과 출력 레벨 조절 기능을 갖고 있다. 상향변환반은 세부적으로 주파수합성부와 변환부로 구성된다. 주파수 합성부는 주파수 변환에 필요한 Local 신호를 생성하는 기능을 수행한다. 10MHz reference 신호와 PLL을 이용하여 Ka대역

주파수변환에 필요한 신호를 생성한 후 Micro-strip LPF를 거쳐 harmonic을 제거한 후 Ka 주파수변환부의 Mixer로 입력된다. 주파수변환부는 중간주파수 신호와 주파수 합성부의 Local 주파수를 합성하여 Ka대역의 신호를 생성하는 역할을 한다.

2.2.2 수신부 설계

Ka대역 fly-away 터미널 수신부 LNB는 안테나로부터 수신된 Ka대역 신호 증폭 및 하향변환하는 기능을 수행한다. LNB는 저잡음증폭부, 주파수변환부와 주파수 합성부로 구성된다. 저잡음증폭부는 최소한의 insertion-loss를 위하여 WG-42를 이용하여 설계하였고 WG-42를 통해 들어온 Ka대역 신호를 LNA에서 신호를 저잡음 증폭시키도록 설계하였다. 잡음지수는 전체 시스템의 잡음지수를 결정하는 중요한 부분으로 설계된 LNB의 잡음지수는 1.6dB이하이며 이득은 60dB이상이다. Fig. 6은 LNB의 잡음지수와 이득을 시뮬레이션 한 결과이다. 주파수변환부는 저잡음증폭부를 통해 들어온 Ka대역 band 신호를 IF 주파수로 하향 변환시키는 역할을 한다. 주파수 합성부는 10MHz reference 신호와 PLL을 이용하여 Ka대역 주파수변환에 필요한 신호를 생성한 후 주파수 doubler를 이용하여 생성된 주파수의 두 배에 해당하는 Local 주파수를 생성한다.



Available Source Power (dBm)	Fundamental Output Power (dBm)	Transducer Power Gain (dB)
-60.00	683.4 m	60.68
-59.00	1.680	60.68
-58.00	2.675	60.68
-57.00	3.669	60.67
-56.00	4.662	60.66
-55.00	5.652	60.65
-54.00	6.639	60.64
-53.00	7.623	60.62
-52.00	8.600	60.60
-51.00	9.570	60.57
-50.00	10.53	60.53
-48.00	12.39	60.39
-47.00	13.28	60.28

(c)

Fig. 6. The receiver simulation result, (a) LNA S11/S21, (b) LNB NF, (c) LNB conversion gain

3 안테나 & RF 시스템 측정 결과

본 논문에서 제작된 Ka대역 fly-away 터미널은 Fig. 7과 같은 형상을 갖는다. 제작된 안테나는 소형 경량화를 위하여 알루미늄 재질이 아닌 경량 재질의 마그네슘을 반사판 및 급전부 지지대에 적용하여 무게를 최소화 하였으며 TWTA대신 MMIC를 이용한 고퓡력 증폭부 설계를 통해 소형 저 전력 경량화 하였다. 안테나 송신 포트와 RF 시스템 간 연결은 송신의 경우 WR-28 waveguide를 통하여 EIRP 손실을 최소화 하였고 송신 출력단의 매칭 및 back-power 인입을 막기 위해 고퓡력증폭기 출력단에 circulator를 설계하였다. 수신부의 경우 WG-42의 waveguide를 통하여 인입 손실을 최소화하여 G/T손실을 최소화 하였고 수신단의 LNB 입력에 TRF와 isolator를 통해 다른 신호와의 간섭을 최소화하도록 설계하였다.



Fig. 7. The fabricated geometry of the fly-away satellite terminal

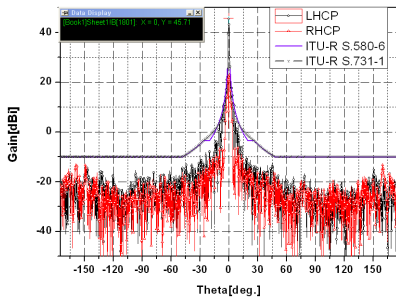
Fig. 8 (a)는 측정된 고퓡력증폭부의 최종 출력으로 +36.47dBm의 결과를 볼 수 있다. Fig. 8 (b)는 30.5GHz에서 측정된 안테나 LHCP/RHCP 방사패턴이며, boresight에서 측정된 안테나 송신 최대 이득은 45.7dBi이다. 안테나의 co-pol 방사패턴(LHCP)은 ITU-R S.580-6 envelope의 99.27%, cross-pol 방사패턴(RHCP)은 ITU-R S.731-1 envelope의 100%를 만족하여 인접위성에 영향을 주지 않는다. 고퓡력증폭부 측정결과와 안테나 이득 측정결과를 이용하여 얻어진 최대 EIRP는 52.17 dBW임을 알 수 있다. Fig. 9는 EBG LPF를 이용한 고조파 측정 결과로써 출력 대비 60dBc 이하에서 고조파 성분이 잡음 레벨 이하로 측정되는 것을 볼 수 있다. Fig. 10 (a)에 나타난 바와 같이 제작된 LNB의 이득은 60dB 이상이며 NF는 1.5dB 이하로 측정되었다. Fig. 10 (b)는 측정

된 안테나 이득으로서, 안테나의 수신 최대 이득은 42.0 dBi의 값을 가지며, co-pol 방사패턴(RHCP)은 ITU-R S. 580-6 envelope의 99.12%, cross-pol 방사패턴(LHCP)은 ITU-R S.731-1 envelope의 100%를 만족하여 인접위성으로부터 영향을 받지 않는다. 안테나 잡음 온도는 지면을 향할수록 높아지며 위성을 지향하는 40°에서는 약 130°K이다. RF 시스템수신부의 G/T는 LNB의 이득과 NF를 통해 결정되며 산출 방법은 식 (3)과 같다.

$$G/T = \text{Antenna Gain} - \text{System Noise Temperature} \quad (3)$$



(a)



(b)

Fig. 8. The measured Tx-band result of the fly-away satellite terminal, (a) High power-amp output power, (b) Antenna radiation pattern

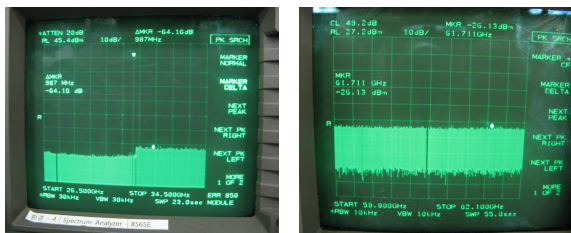
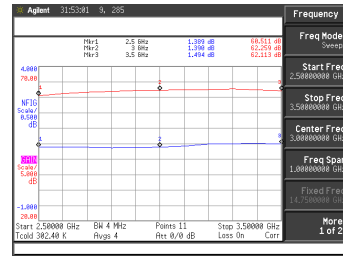
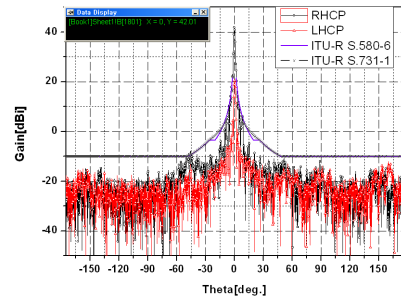


Fig. 9. The measured 2nd harmonic result of the fly-away satellite terminal



(a)



(b)

Fig. 10. The measured rx-band result of the fly-away satellite terminal, (a) LNB gain & NF, (b) Antenna radiation pattern

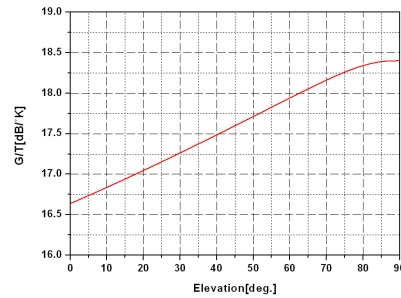


Fig. 11. The measured G/T of the fly-away satellite terminal

Fig. 11에 측정된 안테나이득 패턴과 LNB gain과 NF로부터 계산된 G/T 값을 나타내었으며, 안테나 지향각 18도 이상일 때부터 설계 목표사양 17dB/K 이상을 얻게 된다. Table 2는 fly-away 터미널의 안테나 & RF 시스템의 목표 사양과 설계 및 제작된 시험결과로 송/수신 안테나 이득, 안테나 잡음온도, 고출력 증폭반의 최종출력, LNB의 이득과 NF등의 측정결과를 통해 최대 EIRP와 G/T가 목표사양을 만족함을 알 수 있다.

Table 2. Comparison target &amp; measured results

Parameter		Target	Measured
Frequency		Ka-band	Ka-band
Antenna Gain	Tx	44.0dBi	45.7dBi
	Rx	41.5dBi	42.0dBi
Co-pol/Cross Pol		ITU-R	ITU-R
Antenna Noise Temperature		150°K	134.7°K
HPA output Power		36dBm	36.47dBm
LNB Gain		>60dB	>60dB
LNB NF		<1.9dB	1.6dB
System noise Temperature		320°K	304.3°K
System EIRP		50dBW	52.17dBW
System G/T		17dB/°K	17.2dB/°K

#### 4 결론

본 논문에서는 fly-away 터미널의 안테나와 RF 시스템에 대하여 기술하였다. Fly-away 터미널의 무게는 소형/경량화 설계를 통해 23kg로 제작되었으며, 저전력 설계를 통해 291.6W의 소모전력 특성을 갖도록 제작되었다. 또한 송신 EIRP 52.17dBW, 수신 G/T 17.2 dB/°K의 시험 결과를 통해 목표사양을 초과 충족한다. 이상으로 Ka대역 위성통신용 fly-away 터미널 안테나 & RF 시스템에 대하여 기술하였다. 본 논문에서 제작한 fly-away 터미널은 운용자에 의해 도수운반 및 설치 등 전술기동성이 중요한 Ka대역 위성통신용 지상 터미널로 널리 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### References

- [1] H. Chan, "Advanced Microwave Technologies for Smart Flexible Satellite," IEEE MTTs, 2011.
- [2] B. J. Park, K. B. Kim, W. S. Yoon, S. N. Choi, S. J. Lee, Y. S. Kim, "Design of Solid-State Power Amplifier for Ka-band Satellite Terminal," IEEE the 13th Communications & Electronics Conference, November, 2012.
- [3] Gerard Maral, Michel Bousquet, Satellite Communication Systems, Fifth Edition, John Wiley & Sons, 2002.
- [4] ITU-R Recommendation S.580-6, "Radiation Diagrams for Use as Design Objectives for Antennas of Earth Stations Operating with Geostationary Satellites," 2003.
- [5] ITU-R Recommendation S.731-1, "Reference Earth-Station Cross-Polarized Radiation Pattern for Use in Frequency Coordination and Interference Assessment in the Frequency Range from 2 to about 30," 2005.
- [6] MIL-STD-188-164A, "Interoperability of SHF Satellite Communications Terminals," June, 2004.
- [7] C. A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1997.
- [8] Tom Milligan, "Designing Classical Offset Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antenna from Combinations of Prescribed Geometric Parameters," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 44, No. 3, June, 2002.
- [9] Tom Milligan, "Design of Corrugated Horn : A Primer," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 47, No. 2, April, 2005.
- [10] P. Chambelin, J. F. Pintos, "Design and Optimization of Dual and Wide Band Polarizer for Low Cost Ka Band Application," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2006.
- [11] O. Ishida, Y. Isota, M. Miyazaki, F. Takeda, "A Wideband Orthomode Transducer for a Ku-band Earth Station," Trans. Inst. Electronics Comm. Eng. Japan, Vol. J68, No. 11, pp. 1408-1414, Nov. 1986.