

# 이동형 다목적실용위성 소형 관제국의 Playback 하향 링크 및 원격 명령 상향 링크 채널 설계

## Playback Downlink and Telecommand Uplink Channel Design for Transportable KOMPSAT Ground Station

안 상 일 · 박 동 철\*

Sang-Il Ahn · Dong-Chul Park\*

### 요 약

본 논문은 이동 가능한 다목적실용위성의 소형 관제국 개발을 위한 playback 신호의 하향 링크 및 원격 명령 신호의 상향 링크에 대해 수행한 채널 설계를 기술한다. 하향 링크 채널 설계로서 playback 신호의 수신 임계 신호 대 잡음비로부터 요구 수신 성능을 도출하여 1.5 m 안테나 기반의 하향 링크 수신 성능인 6.5 dB/K의 G/T 이내에서 만족함을 확인하였다. 상향 링크 채널 설계를 통하여 원격 명령 신호에 대한 위성에서의 수신 신호 대 잡음비로부터 40 dBW의 송신 EIRP를 유도하였다. 구축된 소형 관제국을 이용하여 다목적실용위성 및 다목적실용위성 2호에 대해 양 방향 통신시험 및 운영 결과, 고각 10° 이상에서 상향 링크 및 playback 신호의 하향 링크 채널의 요구 성능이 일관성 있게 만족함을 확인하였고, 장기간에 걸친 시험 결과로부터 시스템의 성능 열화가 거의 없음을 확인함으로써 설계상으로 추가적인 3 dB 링크 마진을 고려하지 않은 소형 관제국의 채널 설계가 다목적실용위성에 대해 적절하였음을 검증하였다.

### Abstract

This paper describes playback downlink and telecommand uplink channel design performed for a transportable small-sized KOMPSAT(Korea Multi-Purpose Satellite) ground station. As a result of downlink channel design, required receiving performance was calculated from the threshold signal-to-noise ratio of playback signal and it was revealed that this performance can be guaranteed in 1.5 m ground station with 6.5 dB/K of G/T. For the uplink channel design, 40 dBW of EIRP was derived from the threshold signal-to-noise ratio of telecommand signal received at on-board receiver. The implemented small-sized ground station based on design was evaluated to be fully acceptable for KOMPSAT TT&C(Telemetry, Tracking and Command) system and playback downlink design without taking account of additional 3 dB system link margin was shown to be effective because it had provided constantly initial channel performance without any remarkable degradation over several years of tests with KOMPSAT and KOMPSAT-2, for both uplink and playback downlink in the elevation angle above 10°.

Key words : KOMPSAT, TT&C, Telecommand, Playback

### I. 서 론

1999년 12월 21일, 토러스 발사체로 미국 반덴버

그 공군 기지에서 발사한 다목적실용위성은 태양 동기 궤도로써 일일 평균 14.5회 지구를 남북극 궤도로 선회한다. 위성에는 흑백 6.6 m 해상도를 갖는 전자

한국항공우주연구원 위성지상시스템개발팀(Ground System Development Department, Korea Aerospace Research Institute)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20090220-021

· 수정완료일자 : 2009년 3월 30일

광학카메라(Electro-Optical Camera: EOC)와 칼라 1 km 해상도의 해양 관측 카메라(Ocean Scanning Multispectral Imager: OSMI), 그리고 과학 실험 탑재체(Space Physics Sensor: SPS)가 있으며, 이로부터 위성의 주요 임무는 한반도 주변 지역의 입체 지도 제작을 위한 자료 획득, 전 세계 해양을 대상으로 해양 과학 및 어자원 정보 등의 확보, 그리고 우주 공간의 방사선 입자 측정 및 이온층의 연구를 위한 데이터 획득이다. 다목적실용위성 2호는 2006년 7월 26일에 발사된 후 운용 중이며, 흑백 1.0 m, 칼라 4.0 m 해상도의 영상을 획득할 수 있는 다중 분광 카메라(Multi-Spectral Camera: MSC)를 탑재하고 있다.

다목적실용위성과 같은 저궤도 위성에 대한 위성 관제 센터는 위성의 관제를 안정적으로 수행하고 위성 상태를 관찰하여 이상이 있을 경우 필요한 명령을 최단 시간에 전송할 수 있어야 한다. 또한, 정상 임무 중에라도 긴급한 촬영 지역의 변경 및 궤도 변경이 필요한 경우에는 위성의 정해진 관제국 교신 전에 위성으로 필요한 명령을 보낼 필요가 있다. 정지 궤도 위성과 다르게 저궤도 위성은 궤도에 따른 관제국과의 교신 횟수에 제약이 있음으로 긴급한 명령 전송 및 상태 감시를 위해 전 지구에 걸쳐 다수의 관제국이 필요하게 된다. 다수의 관제국은 이러한 효율적인 위성 관제뿐만 아니라 정확한 위성 궤도 예측을 위해서도 필요하다<sup>[1]</sup>. 스웨덴의 Kiruna, 노르웨이의 Svalbard station, 그리고 미국의 Wallops network에서 관리하는 McMurdo station 등은 여러 지역에서 저궤도 위성 관제를 위해 현재에도 운영 중인 대표적인 관제국이다. 보통 이러한 관제국은 직경 6 m 이상의 고정형 안테나를 갖는 관제국으로써 운영에 따른 유지 보수 비용의 증대 및 이동성에 제한적인 요소를 갖고 있다<sup>[2]</sup>. 현재에는 서버 시스템의 소형화로 이동 가능한 관제국 구성 등이 제시되고 있으나, 소형 안테나를 갖는 관제국 구성 및 설계 방법에 대한 연구는 활발히 수행되지 않고 있다<sup>[1]</sup>.

이에 본 논문에서는 다목적실용위성의 관제용으로 적용할 수 있는 이동 가능한 소형 안테나 기반의 관제국을 개발하기 위해 playback 신호의 수신을 위한 하향 링크 채널과 원격 명령 신호의 송신을 위한 상향 링크 채널 설계 내용을 기술한다. 특히 일반적인 위성-관제국간 채널 링크 설계에서 시스템의 성

능 열화를 고려하여 미리 반영하는 추가적인 3 dB 링크 마진을 본 논문의 설계에서는 시스템의 소형화를 위해 고려하지 않았다. 또한, 관제국의 구현 손실(implementation loss)은 현재 운영되는 MODEM 장비의 실제 사양을 고려하여 설계에 반영하였다. 본 논문에서는 먼저 하향 링크 채널 설계로써 playback 신호의 임계 수신 신호 대 잡음비를 만족하는 수신 성능을 도출하였다. 한편, 상향 링크 채널 설계에서는 위성에서의 원격 명령 및 거리 측정 신호의 수신 임계 신호 대 잡음비와 신호 전력을 각각 해석하고 하향 링크의 설계 결과에 의해 도출된 안테나 크기를 고려하여 송신 성능을 산출하였다. 설계 결과로써 1.5 Mbps의 신호를 위해 필요한 수신 성능 지수(Figure Of Merit: G/T)가 2.048 kbps의 신호에서 요구되는 6.5 dB/K의 G/T 범위에서 만족하는지를 확인하였고 동일 안테나를 적용할 경우에 필요한 송신 유효 등방성 방사 전력(Effective Isotropically Radiated Power: EIRP)을 도출하였다. 설치 및 운영 환경 요인과 이동성의 편의를 고려하여 2.4 m 레이돔 안에 설치가 될 수 있는 소형 관제국을 구현하였다. 설계된 하향 링크 채널 및 상향 링크 채널은 장기간에 걸친 시험을 통해, 10° 이상의 고각에서 실제 위성으로부터 수신 후 측정된 playback 신호의 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도의 비( $E_b/N_0$ )와 원격 명령 신호를 전송하여 위성의 수신기에서 측정된 전력 세기의 변화가 요구되는 성능을 만족하는지 확인함으로써, 설계상으로 3 dB 링크 마진을 고려하지 않은 것이 타당함을 검증하였다.

## II. 다목적실용위성의 Playback 신호 및 원격 명령 신호

위성 관제 신호는 원격 명령 신호 및 위성 상태 측정 데이터 신호 그리고 거리 측정 신호로 구분된다. 이중에서 위성 상태 측정 데이터 신호는 실시간으로 전송되는 경우와 playback으로 전송되는 경우로 구분된다. 저궤도 위성에서는 이전 관제국과의 교신 이후 다음 교신까지의 모든 위성 상태 및 측정 데이터를 저장하고 다음 관제국과의 교신이 될 때 저장된 데이터를 짧은 교신 시간 내에 한꺼번에 playback 신호로 전송한다. 한편, 관제 센터에서는 수신된 playback 신호의 데이터를 이용해서 위성의 이상 유무

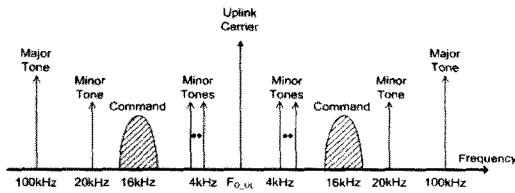


그림 1. 상향 링크 관제 신호들의 주파수 스펙트럼  
Fig. 1. Frequency spectrum of uplink signals.

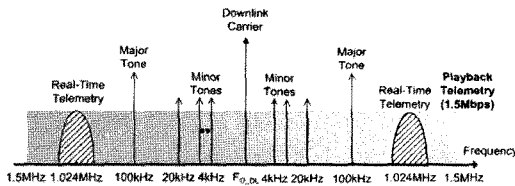


그림 2. 하향 링크 관제 신호들의 주파수 스펙트럼  
Fig. 2. Frequency spectrum of downlink signals.

를 데이터의 빠짐없이 연속적으로 분석할 수 있게 된다. 이렇게 제한된 교신시간동안 저장된 모든 데이터를 전송하기 위해서 다목적실용위성은 2.048 kbps의 실시간 위성 상태 측정 데이터보다 700배 이상 빠른 1.5 Mbps의 전송 속도를 채택하고 있다. 한편, 원격 명령 신호는 상향 링크를 통해 위성으로 전송되며, 거리 측정 신호는 상향 링크로 위성으로 전송된 후에 다시 하향 링크로 회귀된다. 그림 1과 2는 각각 상향 링크와 하향 링크 관제 신호들의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

그림 1에서처럼 상향 링크의 원격 명령과 거리 측정 신호들은 위상 변조 방식으로 변조되어 반송파에서 특정 주파수 간격으로 위치하여 위성으로 전송된다. 마찬가지로 하향 링크 신호인 실시간 위성 상태 측정 데이터와 위성에서 회귀된 거리 측정 신호들도 그림 2에서처럼 위상 변조 방식으로 변조되어 위성으로부터 전송된다. 또한, playback 신호도 하향 링크를 통해 위성으로부터 전송되는데, 제한된 교신시간에 저장된 데이터를 전송하기 위한 전송 속도가 1.5 Mbps이므로 대역폭의 측면에서 동일한 하향 링크 신호인 실시간 위성 상태 측정 데이터 신호와 거리 측정 신호에 간섭을 줄 수 있다. 따라서 playback 신호를 위성에서 전송할 때는 거리 측정이 수행되지 않으며, 이 경우에 실시간 위성 상태 측정데이터는 playback 신호의 데이터에 포함되어 전송된다.

표 1. 다목적실용위성의 원격 명령, 거리 측정, 그리고 playback 신호의 전송 특성

Table 1. Characteristics of telecommand, ranging measurement, and playback signals for KOMPSAT.

위성	상향 링크 주파수	2,025~2,110 MHz
	하향 링크 주파수	2,200~2,290 MHz
	EIRP for playback	1 dBW
원격 명령	변조 방식	PCM/BPSK/PM
	변조 지수	1.0 rad±10 %
	임계 신호 대 잡음비	10.8 dB
	전송 속도	2.0 kbps
거리 측정 신호	측정 방식	톤 방식(GSTDN)
	변조 방식 및 대역폭	PM/800 kHz
	변조 지수	0.4 rad±3 %
	임계 수신 전력	≥ -100 dBm
Play-back	변조 방식	Direct PM
	변조 지수	1.57 rad±12 %
	임계 신호 대 잡음비	9.6 dB
반송파	전송 속도	1.5 Mbps
	임계 신호 대 잡음비	45 dB
	대역폭	1,000 Hz

표 1은 다목적실용위성의 원격 명령, 거리 측정, 그리고 playback 신호의 전송 특성을 나타낸 것이다<sup>[3],[4]</sup>.

다목적실용위성의 상향 링크 신호들의 전송은 3 가지 모드로 구분된다. 즉, 원격 명령 신호만을 전송(모드 1), 톤을 사용하는 거리 측정 신호만을 전송(모드 2), 그리고 원격 명령 신호와 톤을 사용하는 거리 측정 신호의 동시 전송(모드 3)이다<sup>[5],[6]</sup>.

$$\text{모드 1: } c(t) = \sqrt{2} \sin[\omega_c t + \beta_s \sin(\omega_s t)]$$

$$\text{모드 2: } c(t) = \sqrt{2} \sin[\omega_c t + \beta_{r1} \sin(\omega_{r1} t) + \beta_{r2} \sin(\omega_{r2} t)]$$

$$\text{모드 3: } c(t) = \sqrt{2} \sin[\omega_c t + \beta_s \sin(\omega_s t) + \beta_{r1} \sin(\omega_{r1} t) + \beta_{r2} \sin(\omega_{r2} t)]$$

$$\text{Playback: } c(t) = \sqrt{2} \sin[\omega_c t + \beta_{pb} c(t)] \quad (1)$$

여기에서  $\omega_c$ ,  $\omega_s$ ,  $\omega_{r1}$  그리고  $\omega_{r2}$ 는 반송파 신호, 부 반송파 신호 그리고 minor 톤과 major 톤 신호의 주파수이다. 또한,  $\beta_s$ ,  $\beta_{r1}$ ,  $\beta_{r2}$  및  $\beta_{pb}$ 는 부 반송파

신호, 거리 측정 신호의 minor 톤 신호와 major 톤 신호의 변조 지수, 그리고 playback 신호의 변조 지수이며,  $d(t)$ 는 NRZ-L(Non Return to Zero-Level)의 이진 구형파 신호이다.

변조 방식 및 변조 지수에 따라 관제 신호들의 전력이 변하기 때문에 표 1의 변조 방식과 변조 지수에 따른 상향 링크 관제 신호의 전송 전력 손실을 분석하였다. Playback 신호는 변조 지수의 변화에 따라 위상 변조되므로 위상 동기 회로(Phase-Lock Loop: PLL) 또는 Costas 루프에 의해 복조되며, 이때의 신호 형태는 다음과 같다<sup>7)</sup>.

$$\begin{aligned}
 c(t) &= A c(t) \cdot \cos(\omega_s t + \theta_c(t)) \\
 &= A k_m [\cos(\beta_{pb} d(t)) \{ \sin(\psi(t) - \theta_c(t)) \\
 &\quad + \sin(2\omega_c t + \psi(t) + \theta_c(t)) \} \\
 &\quad + \sin(\beta_{pb} d(t)) \{ \cos(\psi(t) - \theta_c(t)) \\
 &\quad + \cos(2\omega_c t + \psi(t) + \theta_c(t)) \}] \quad (2)
 \end{aligned}$$

여기서,  $\psi(t)$ ,  $\theta_c(t)$ 는 전송 신호와 수신 반송파 신호의 순시적인 위상 값이다.

수신 PLL 회로에서 전송 신호의 위상과 반송파 신호의 위상차 에러인  $\theta_e(t) = \psi(t) - \theta_c(t)$ 는 동기되어, PLL 출력 신호는 playback 신호를 갖는다. 따라서 전송 신호 성분은 식 (2)의 두 번째 항이고, 반송파 성분은 첫 번째 항이다. Playback 정보 신호인  $d(t)$ 는 이진 구형파 신호이므로 변조 지수에 대한 반송파 전력 손실은  $\cos^2(\beta_{pb})$ 이며, 이진 구형파 신호 손실은  $\sin^2(\beta_{pb})$ 로 표현할 수 있다. 표 2는 전송 모드 1, 2 그리고 3의 신호에 대해 삼각함수 및 Bessel 함수를 이용하여 각 모드별 변조 손실을 나타낸 것이다<sup>8)</sup>.

각 모드별로 변조 손실의 형태로서 변하는 전력 크기를 고려하여 소형 지상국은 원격 명령 신호 및 위성거리 측정 신호의 다양한 전송 모드를 수행할 수 있어야 하며, 이때 표 1에서 정의한 최소 요구되는 신호 대 잡음비 및 신호 크기를 유지할 수 있어야 한다. 하향 링크로 전송되는 playback 신호의 수신에 대해서도 소형 관제국은 표 2에서의 변조 손실을 고려하여 데이터 복원에 요구되는 신호 대 잡음비를 만족해야 한다.

표 2. 전송 모드별 변조 손실

Table 2. Modulation loss vs. transmission mode.

전송 모드	전송 신호	변조 손실
전송 모드 1	반송파 원격 명령	$J_0^2(\beta_s)$ $2J_1^2(\beta_s)$
전송 모드 2	반송파 Major 톤 Minor 톤	$J_0^2(\beta_{r1})J_0^2(\beta_{r2})$ $2J_1^2(\beta_{r2})$ $2J_1^2(\beta_{r1})J_0^2(\beta_{r2})$
전송 모드 3	반송파 부반송파 Major 톤 Minor 톤	$J_0^2(\beta_s)J_0^2(\beta_{r1})J_0^2(\beta_{r2})$ $2J_1^2(\beta_s)J_0^2(\beta_{r1})J_0^2(\beta_{r2})$ $2J_0^2(\beta_s)J_1^2(\beta_{r2})$ $2J_0^2(\beta_s)J_1^2(\beta_{r1})J_0^2(\beta_{r2})$
Playback	반송파 데이터	$\cos^2(\beta_{pb})$ $\sin^2(\beta_{pb})$

### III. Playback 신호의 하향 링크 및 원격 명령 신호의 상향 링크 채널 설계

#### 3-1 Playback 신호의 하향 링크 채널 설계

Playback 신호에 대해 표 2에서 나타낸 변조 손실을 적용하면 데이터를 복원하기 위한 요구 수신 신호 대 잡음비는 식 (3)처럼 나타낼 수 있다.

$$SNR_{pb} = \frac{\gamma_{pb}}{\sin^2(\beta_{pb})} \quad (3)$$

여기서,  $\gamma_{pb}$ 은 playback 신호의 수신되는 신호 대 잡음비의 임계값이다.

표 1의 신호 특성을 적용하면, playback 신호로부터 데이터를 복원하기 위해서는 식 (4)의 최소 수신 신호 대 잡음비를 만족하여야 한다.

$$SNR_{pb} \geq 0.16 + 71.36 + L_{pb} \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

여기서, 0.16 dB의 변조 손실은 최악의 경우의 변조 지수를 적용하여 산출하였으며, 71.36 dB는 전송 속도 및  $10^{-5}$ 의 비트 오류율(Bit Error Rate: BER)에 해당되는  $E_b/N_0$ 로부터 계산된 것이다<sup>9)</sup>. 그리고  $L_{pb}$ 는 복조 손실 또는 설계 마진이다.

다목적실용위성의 playback 신호는 전송 속도 및 ITU-R에서 규정한 전력 밀도를 고려하여 부 반송파

표 3. 소형 관제국에 대한 playback 신호의 하향 링크 채널 설계(10° 고각 기준)

Table 3. Downlink channel design of playback signal for small-sized KOMPSAT ground station(for 10°).

Satellite			
EIRP(dBW)		1.0	
손실(dB)	흡수	0.25	
	편파	0.48	
	자유공간	166.04	
	지향(pointing)	0.12	
	Radome	0.25	
Boltzmann's constant(dBW/Hz-K)		228.6	
수신 S/N <sub>o</sub> (dB-Hz)		62.45	
신호 성분		반송파	Playback
변조 손실 (dB)	Normal	61.98	0.00
	Worst	14.50	0.16
순수 수신 S/N <sub>o</sub> (dB-Hz)	Normal	0.47	62.45
	Worst	48.55	62.29
Transmission			
신호 성분		Playback	
최소 요구 S/N <sub>o</sub> (dB-Hz)		71.36	
요구 E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub> & 데이터 율(dB)		9.6/61.76	
Implementation loss(dB)		1.0	
Reed-Solomon(255, 223) 부호화 이득(dB)		3.9 at 10 <sup>-5</sup> BER	
요구 G/T (dB/K)	Normal	6.01	
	Worst	6.17	

를 사용하는 실시간 위성 상태 측정 데이터보다 23 dB 높은 전력으로 전송된다<sup>[3]</sup>. 따라서 식 (4)의 수신 신호 대 잡음비를 만족하기 위한 playback 신호의 하향 링크 채널 설계는 표 3처럼 나타내어진다.

표 3에 의하면, 10° 이상의 고각에서 playback 신호를 수신하기 위한 수신 채널의 G/T 성능은 약 6.2 dB/K임을 알 수 있다. 이러한 수신 성능은 부 반송파를 사용하는 실시간 위성 상태 측정 데이터 신호의 수신을 위해 설계된 6.64 dB/K의 요구 G/T 성능을 갖는 1.5 m 급 소형 안테나 기반의 관제국에서도 만족하는 것으로써 동일 채널에서 playback 신호를 양호하게 수신할 수 있음을 알 수 있다<sup>[10]</sup>.

3-2 원격 명령 신호의 상향 링크 채널 설계

표 4. 원격 명령 신호의 요구 신호 대 잡음비  
Table 4. Required SNR<sub>o</sub> of telecommand signal.

링크	전송 신호	요구 신호 대 잡음비
상향	반송파	SNR <sub>oC</sub> ≥ 3.603 + 45.0 + L <sub>uc</sub>
	원격 명령	SNR <sub>oS</sub> ≥ 5.565 + 43.81 + L <sub>us</sub>

원격 명령 신호의 전송을 위한 상향 링크 채널을 설계하기 위해 원격 명령 신호와 거리 측정 신호가 동시에 전송되는 모드 3의 신호를 식 (3)과 같이 동일하게 적용하면, 원격 명령 신호의 신호 대 잡음비는 식 (5)처럼 나타낼 수 있다.

$$SNR_{oS} = \frac{\gamma_{usc}}{2[J_1(\beta)J_0(\beta_{r1})J_0(\beta_{r2})]^2}$$

$$SNR_{oC} = \frac{\gamma_{uc}}{[J_0(\beta)J_0(\beta_{r1})J_0(\beta_{r2})]^2} \quad (5)$$

여기서,  $\gamma_{usc}$ ,  $\gamma_{uc}$ 는 각각 원격 명령 신호와 반송파 신호에 대한 위성에서의 수신 신호 대 잡음비의 임계값이다.

식 (5)로부터 원격 명령 신호의 요구 신호 대 잡음비를 구하면, 표 4와 같이 나타낼 수 있다.

원격 명령 신호에서 5.565 dB의 변조 손실은 최악의 경우에 해당하는 1.3552 rad의 변조 지수를 적용한 것이며, 43.81 dB는 전송 속도 및 10<sup>-6</sup>의 BER에 해당되는 E<sub>b</sub>/N<sub>o</sub>로부터 산출되었다<sup>[9]</sup>. L<sub>us</sub>, L<sub>uc</sub>는 원격 명령 신호와 반송파 신호 수신을 위한 복조 손실 또는 설계 마진이다. 원격 명령 신호의 전송은 playback 신호의 수신에서 사용되는 안테나를 동일하게 사용함으로써 1.5 m 안테나를 적용하면 표 5처럼 소형 관제국에 대한 상향 링크 채널의 설계가 됨을 알 수 있다.

표 5의 상향 링크 채널 설계로부터 10°의 안테나 고각에서 거리 측정 신호 및 원격 명령 신호를 송신하기 위한 송신 전력은 거리 측정 신호에 지배적으로 작용하여 34.4 dBW의 EIRP가 요구됨을 알 수 있다. 상향 링크 채널 성능은 위성이 비정상적인 상태로 되어 자세가 불안정할 경우에도 통신이 가능하게 하기 위해 추가적인 전송 마진으로 6 dB를 고려하였다. 이에 1.5 m의 안테나 상향 링크 채널 성능으로 요구되는 40 dBW의 송신 EIRP를 위하여 SSPA의 출력은 16.4 dBW 이상으로 결정하였다.

표 5. 소형 관제국에 대한 원격 명령 신호의 상향 링크 채널 설계(10° 고각 기준)

Table 5. Uplink channel design of telecommand signal for small-sized KOMPSAT ground station(for 10°).

Satellite				
손실(dB)	흡수	0.25		
	편파	0.48		
	자유공간	165.33		
	지향(pointing)	0.12		
	Radome	0.25		
Boltzmann's constant (dBW/Hz-K)		228.6		
위성 안테나 이득(dB)		2		
위성 안테나 G/T(dB/K)		-38.75		
수신 전력(dBm)		-134.4		
수신 S/N <sub>0</sub> (dB-Hz)		23.42		
신호 성분		반송파	거리 측정	원격 명령
변조 손실 (dB)	Normal	3.026	13.819	4.822
	Worst	3.603	14.586	5.565
Transmission				
신호 성분		반송파	거리 측정	원격 명령
요구 S/N <sub>0</sub> (dB-Hz) 및 수신 전력		45	≥ -100 dBm	43.81
요구 E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> & 전송 속도 (dB)		-	-	10.8/33.01
Implementation loss(dB)		3.0	0	3.0
요구 EIRP (dBW)	Normal	27.61	34.4	28.21
	Worst	28.18		28.96

#### IV. 1.5 m 안테나 기반의 소형 관제국 구현

그림 3은 조립된 1.5 m 안테나를 나타낸 것으로 안테나 반사판 후면에 다이플렉서, 그리고 저 잡음 증폭기를 부착하고 내부 장비와 연결하기 위한 케이블이 안테나 구동에 영향이 없도록 하기 위해 로터리 조인트와 슬립 링을 사용하게 되었다. 그리고 정확한 위성 추적을 위한 안테나 추적 포지셔너(positioner)는 El-over-Az 방식으로 zero-backlash를 가지는 직접 구동 모터(DDM: Direct-Drive Motor)를 채택하여 기존의 서보 모터(servo motor) 및 감속기(gear box)를 사용하는 시스템에서 나타나는 backlash에 의한 추적 오차를 감소시키고, 포지셔너 제어기(positi-

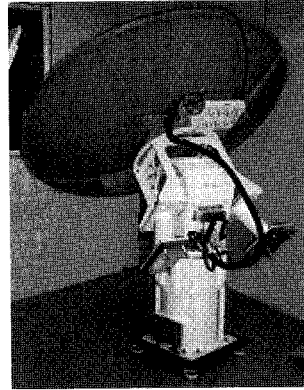


그림 3. 조립된 1.5 m S-대역 관제 안테나  
Fig. 3. Integrated 1.5 m S-Band TT&C antenna.

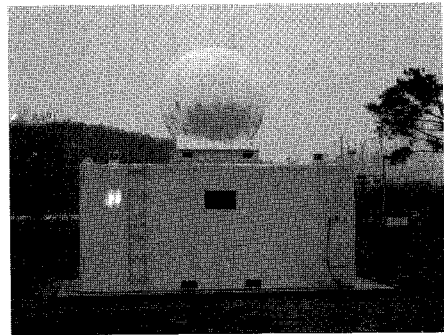


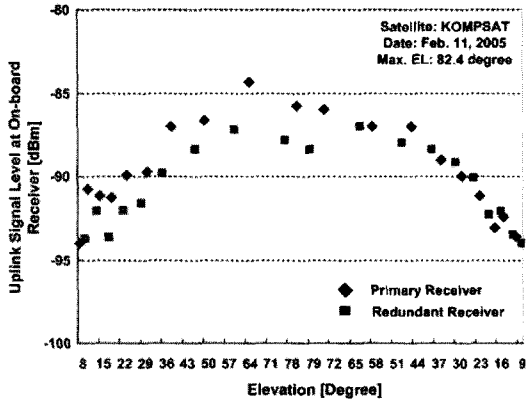
그림 4. 이동형 쉘터의 소형 관제국  
Fig. 4. Small-sized ground station with transportable shelter.

tioner controller)는 PMAC(Programmable Multi-Axes Controller)을 사용하여 Az/EI 축의 자유롭고 유연한 서보 모터 제어가 동시에 가능하며 다양한 입출력 기능과 S/W의 기능에 의해 최적화된 추적(tracking) 기능의 구현이나 변경이 가능하도록 구현하였다.

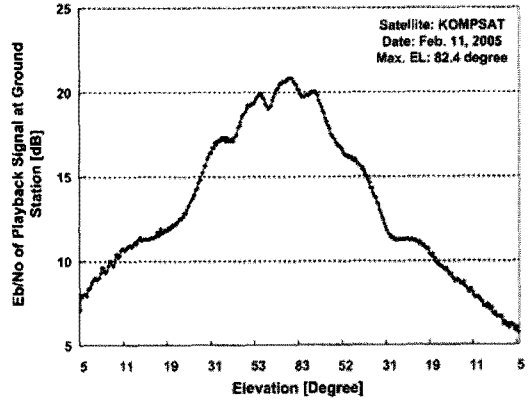
그림 4는 이동형 컨테이너의 소형 관제국을 나타낸 것으로 1.5 m 안테나는 2.4 m 레이돔 안에 위치되도록 함으로써 극심한 운영 환경에 의한 영향을 최소화하였다. SSPA를 비롯한 주파수 변환기 및 모뎀 등의 모든 장비는 쉘터 내부의 19인치 rack에 장착하였으며, 쉘터는 차량에 탑재가 가능하도록 구현하였다.

#### V. 시험 및 분석

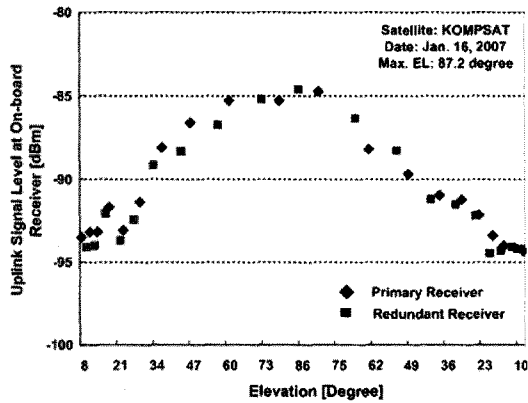
구현된 소형 관제국에 대해 설계한 상향 링크와



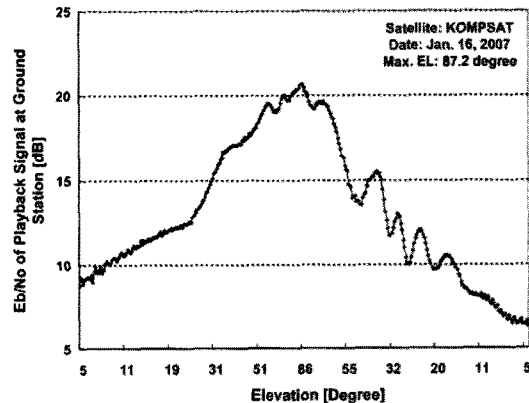
(a) 위성 수신기에서의 수신 전력(2005년 2월 11일)  
 (a) Uplink signal level at on-board receiver(11 February 2005)



(b) 관제국에서 수신한 playback 신호의  $E_b/N_o$ (2005년 2월 11일)  
 (b)  $E_b/N_o$  of playback signal received at ground station (11 February 2005)



(c) 위성 수신기에서의 수신 전력(2007년 1월 16일)  
 (c) Uplink signal level at on-board receiver(16 January 2007)



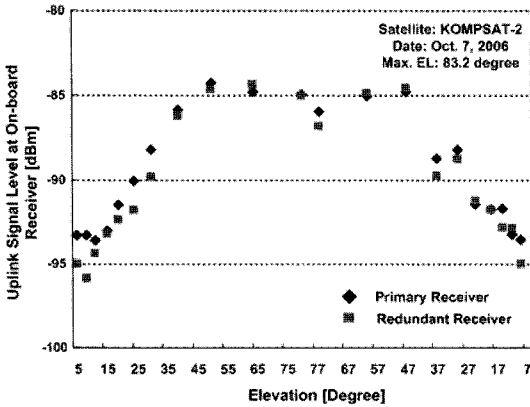
(d) 관제국에서 수신한 playback 신호의  $E_b/N_o$ (2007년 1월 16일)  
 (d)  $E_b/N_o$  of playback signal received at ground station(16 January 2007)

그림 5. 다목적실용위성 수신기에서의 수신 전력 및 관제국에서의 수신  $E_b/N_o$ .

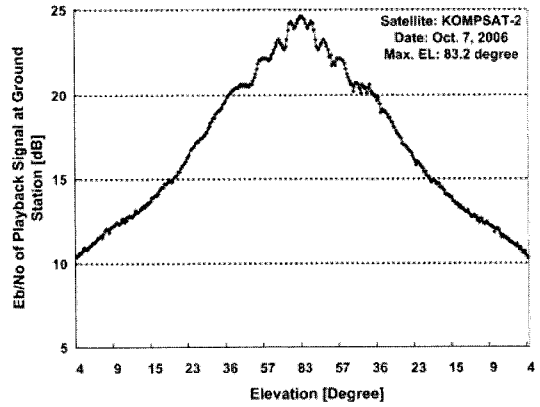
Fig. 5. KOMPSAT uplink signal level and  $E_b/N_o$  of playback signal.

하향 링크 채널의 성능 요구 사항이 만족되는 지를 확인하기 위해 실제 위성과의 지속적인 통신으로써 지상에서 수신 받은 playback 신호의  $E_b/N_o$ 와 위성에 탑재된 수신기에 입력된 상향 링크 신호의 전력 세기 변화를 측정하였다. 그림 5는 소형 관제국이 실제로 장기간에 걸쳐 다목적실용위성의 운영을 수행하면서 측정하고 저장한 데이터를 나타낸 것으로써 2005년 2월 11일과 2007년 1월 16일의 위성 교신에서 위성 수신기에서의 수신 전력 및 지상 장비에서 수신한 playback 신호의 품질을  $E_b/N_o$ 로 나타낸 것이다.

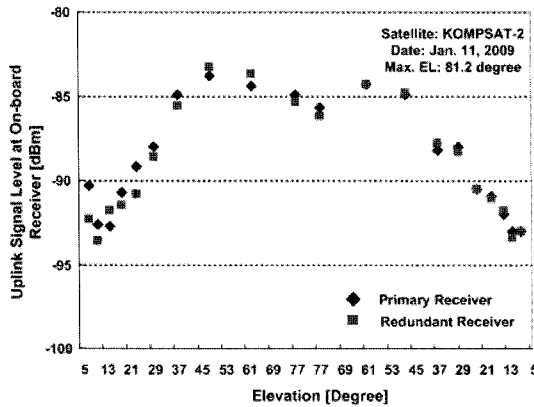
안테나의 최대 고각이 각각 82.4°와 87.2°인 위성 궤도 추적에 대해 상승 10°~하강 10° 고각 지점에서 40.4 dBW 출력을 전송하면서 측정된 상향 전송 신호의 위성체 수신 전력은 최소 -95 dBm 이상을 나타냄으로써 표 5에서의 설계된 상향 링크의 요구 되는 위성에서의 수신 전력을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 한편, 소형 관제국의 수신 G/T는 6.64 dB/K 이고 또한 지상 장비에서 수신 신호의  $E_b/N_o$ 는 Reed-Solomon 부호화 이득이 반영되지 않은 것이기 때문에 표 3의 결과로부터 최악의 경우를 고려할 경우



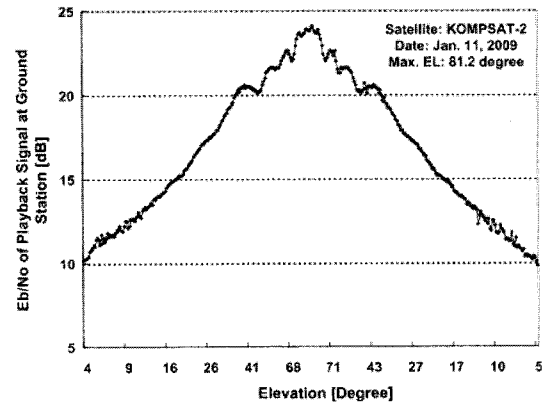
(a) 위성 수신기에서의 수신 전력(2006년 10월 7일)  
(a) Uplink signal level at on-board receiver(7 October 2006)



(b) 관제국에서 수신한 playback 신호의  $E_b/N_o$ (2006년 10월 7일)  
(b)  $E_b/N_o$  of playback signal received at ground station (7 October 2006)



(c) 위성 수신기에서의 수신 전력(2009년 1월 11일)  
(c) Uplink signal level at on-board receiver(11 January 2009)



(d) 관제국에서 수신한 playback 신호의  $E_b/N_o$ (2009년 1월 11일)  
(d)  $E_b/N_o$  of playback signal received at ground station (11 January 2009)

그림 6. 다목적실용위성 2호 위성 수신기에서의 수신 전력 및 관제국에서의 수신  $E_b/N_o$ .  
Fig. 6. KOMPSAT uplink signal level and  $E_b/N_o$  of playback signal.

약 6.2 dB로 예상할 수 있다<sup>[10]</sup>. 그림 5에서처럼 수신된 playback 신호의  $E_b/N_o$ 는 고각 10°인 지점에서 최소 7.1 dB 이상을 나타냄으로써 Reed-Solomon 부호화 이득을 고려할 때 요구되는  $10^{-5}$ 의 BER를 충분히 만족할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 다목적실용위성의 후속으로 2006년에 발사된 다목적실용위성 2호와의 양방향 통신을 수행하면서 소형 관제국에서 측정한 데이터로 2006년 10월 7일과 2009년 1월 11일의 위성 교신에서 위성 수신기에서의 수신 전력 및 지상 장비에서 수신한

playback 신호의 품질을  $E_b/N_o$ 로 나타낸 것이다.

다목적실용위성 2호와의 통신 시험에서도 소형 관제국은 운용 범위인 10° 이상의 고각에서 상향 전송 신호의 위성체 수신 전력이 모두 -95 dBm 이상임을 확인하였다. 또한, playback 신호의 수신  $E_b/N_o$ 는 위성에서의 송신 EIRP가 다목적실용위성에 비해 향상되었기 때문에 최소 12 dB 이상이 됨을 확인하였다. 이러한 결과들로부터 소형 관제국은 다목적실용위성 2호에 대해서도 성능 열화 없이 안정적인 양방향 통신 성능을 제공할 수 있었다.



VI. 결 론

본 논문에서는 다양하고도 극한 환경에서 다목적 실용위성의 관제를 할 수 있는 이동 가능한 소형 관제국의 개발을 위해 수행한 playback 신호의 하향 링크 채널 및 원격 명령 신호의 상향 링크 채널의 설계를 보였다. 특히 시스템의 소형화를 위해 추가적인 3 dB 링크 마진을 설계에 반영하지 않았고 구현 손실에 대해서는 현재 운영되는 MODEM 장비의 실제 사양을 고려하였다. 우선 playback 신호의 하향 링크 채널을 요구 수신 신호 대 잡음비로부터 설계한 결과, 부 반송파를 사용하는 실시간 위성 상태 측정 데이터 신호의 수신을 위해 6.5 dB/K의 요구 G/T 성능을 가지며 2.4 m 레이돔 안에 설치 가능한 직경 1.5 m 급 소형 안테나 기반의 관제국에서 만족되는 것을 확인하였다. 상향 링크의 채널 설계를 수행함으로써 원격 명령 신호와 거리 측정 신호가 동시에 전송되는 모드를 고려할 때 40 dBW의 송신 성능이 요구가 되는 것을 확인하였다.

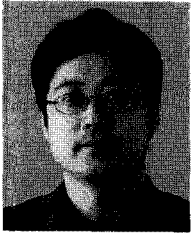
구축된 소형 관제국을 이용하여 다목적실용위성 및 다목적실용위성 2호에 대해 양방향 통신 시험 및 운영 결과로서 고각 10° 이상에서 상향 링크 및 playback 신호의 하향 링크 채널의 요구 성능이 일관성 있게 만족함을 확인함으로써 설계상으로 추가적인 3 dB 링크 마진을 고려하지 않은 소형 관제국의 채널 설계가 다목적실용위성에 대해 적절하였음을 검증하였다.

이러한 결과는 향후 저궤도 위성을 위한 관제국의 소형화와 관련된 연구에서 참고로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Paul J. Oleski, Bill Asiano, "Portable universal ground processing unit for remote satellite control", in *Proc. Military Communications Conf(MILCOM)*, vol. 2, pp. 1047-1051, 2005.
- [2] [Online]. <http://www.ksat.net>
- [3] 김해동 외 2인, "다목적실용위성 1호의 임무 계획 및 운영", *한국항공우주학회 논문지*, 29(7), pp. 118-126, 2001년.
- [4] NASA, *Ground Network(GN) User's Guide*, 530-UGD-GN, Maryland, pp. 11-16, 1993.
- [5] Jack Kreng et al., "Telemetry, tracking, and command link performance using the USB/STDN waveform", in *Proc. Aerospace Conf.*, pp. 1-15, 2007.
- [6] Jack Kreng et al., "Telemetry, tracking, and commanding(TT&C) link considerations for a LEO sat", in *Proc. Aerospace Conf.*, pp. 1646-1655, 2005.
- [7] Command Ranging & Telemetry unit-CRT-XL User's Manual, IN-SNEC.
- [8] R. Gagliardi, *Introduction to Communications Engineering*, John Wiley & Sons, N.Y., pp. 199-209, 1988.
- [9] Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 117-118, 2001.
- [10] 안상일, 박동철, "부 반송파를 사용하는 이동형 다목적실용위성 관제국에 대한 하향 링크 채널 설계", *한국전자과학회논문지*, 20(3), pp. 313-321, 2009년 3월.

안 상 일

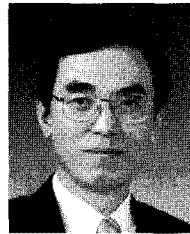


1991년 2월: 한양대학교 전자통신 공학과 (공학사)  
1994년 8월: 한양대학교 전자통신 공학과 (공학석사)  
1995년 3월~현재: 한국항공우주연구원 위성지상시스템개발팀 팀장  
2001년 3월~현재: 충남대학교 전

파공학과 박사과정

[주 관심분야] 송수신 시스템, 위성 데이터 처리 시스템

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1976년 2월: 한국과학기술원 전기 전자공학과 (공학석사)  
1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)  
1977년~1978년: Ruhr University, Bo-

chum, Germany 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson

1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson

2000년~2001년: 한국전자과학회 회장

2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장

1976년~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC