

技術論文

위성 제어용 RF Telecommand 및 Telemetry 시험 장비 설계 및 제작

장래규*, 조승원**, 이형구*, 홍성용*

Design and fabrication of test equipment of
RF Telecommand and Telemetry for satellite control

Lae-Kyu Chang*, Seong-Won Jo**, Hyung-Goo Lee* and Sung-Yong Hong*

ABSTRACT

Telecommand & telemetry control equipment is needed for the testing of the transponders during the development of satellite. This equipment must have a loopback function to perform the self testing without satellite. The fabrication of the designed system is easier and cheaper than the conventional testing system using direct modulation method. The measured results of fabricated equipment are satisfied with required specifications. A overall path loss of uplink and downlink is 47.8 dB and 42.6 dB, respectively. Also, IMD3 of uplink has measured 60.68 dBc at an output of -50 dBm.

초 록

지상국과 교신을 위한 위성체의 트랜스폰더를 개발 시작 단계부터 발사 단계까지 동작 상태를 시험하기 위한 장비를 설계하였다.¹⁾ 설계한 시험 장비는 COTS(Commercial Off-The-Shelf) 부품을 사용하여 크기와 개발 기간을 단축하였으며, 위성 발사 후 지상국에서도 사용할 수 있도록 설계하였다. 측정 결과 시험 장비의 상향 링크와 하향 링크의 경로 손실은 각각 47.8 dB와 42.6 dB로 나타났다. 또한 송신단의 선형특성은 -50 dBm 출력에서 60.68 dBc의 IMD3를 가진다.

Key Words : 위성, 시험장비, 트랜스폰더, EGSE, loop back

1. 서 론

위성체 개발은 부품 제작부터 모듈, 서브시스템, 시스템의 조립까지 각 단계별로 우주환경에서 정상 동작 가능 여부를 판단하는 각종 시험이 필요하다.²⁾ 본 논문에서 보이는 위성 시험 장비는 지상국과 위성간의 무선 통신 링크를 시험하는 장비로서 S-Band를 사용하는 모든 위성체에 적용이 가능하도록 제작하였다. 그림 1에 위성체

시험 장비인 EGSE(Electrical Ground Support Equipment)의 구성도를 나타내었다. EGSE는 시스템 전체를 제어하는 SOCE(Satellite Overall Control Equipment)와 SOCE로 부터의 명령을 위성의 데이터 포맷으로 변환하고 변복조 성능을 시험하는 TTCE(Telecommand & Telemetry Control Equipment), 궤도상에서의 전력 생성 및 부하 상태를 시험하는 PACE(Power And Control Equipment)로 구성된다.

TTCE는 RF 링크와 위성체 트랜스폰더, 밴드 스텝 링크와 OBC(On Board Computer)간의 경로를 통해 Telecommand와 Telemetry 통신을 한다. 본 논문에서는 TTCE의 한 부분인 위성체의 RF 링크 및 트랜스폰더를 시험하기 위한 장

† 2008년 7월 22일 접수 ~ 2009년 1월 16일 심사완료

* 정희원, 충남대학교 전자공학과

교신저자, E-mail : syhong@cnu.ac.kr

대전시 유성구 궁동 220번지

** 정희원, 한국항공우주연구원 위성시험실

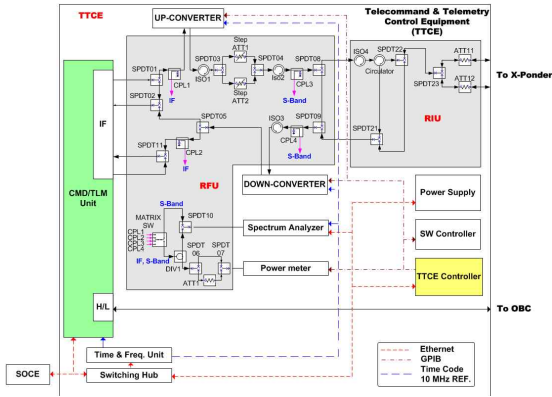


그림 4. RF 신호 시험 장비의 구성도

상향 링크의 경우 출력 -50 dBm에서 -26.7 dBm의 OIP3 결과를 얻었다. 위 식으로 계산을 하면 IMD3는 46.6 dBc의 결과를 얻을 수 있으며 -80 dBm 출력시 설계 목표 이상의 선형성을 확보할 수 있다.

하향 링크의 경우 RFU의 IF단과 RF단의 삽입 손실을 각각 5 dB로 고려하였고, 주파수 하향 변환기에 37 dBm를 입력할 경우 약 -10 dBm의 전력이 CMD/TLM로 입력되도록 이득을 10 dB로 조정하였다. 그림 4에 RF 신호 시험 장비의 상세한 구성도를 나타내었다.

CMD/TLM Unit과 RFU, Up Converter, Down Converter, RIU를 이용하여 RF 경로를 구성하였다. RFU의 IF 및 RF 신호의 특성을 볼 수 있도록 커플러를 삽입하였고, 가변 감쇄기를 이용하여 전력을 조절할 수 있도록 하였다. 또한, RIU의 상향 링크와 하향 링크 신호를 분리하기 위해 써큘레이터를 사용하였다. RFU과 RIU 모두 상향 링크에서 하향 링크로 loop back 경로를 설정하였다.

2.2 RFU 설계 및 제작

RFU는 주파수 상하향 변환기와 함께 위성과의 RF 경로에 위치하며, 상향 링크와 하향 링크의 IF단 및 RF단으로 구성되며, 위성 제작에 헤리티지가 확보된 부품을 사용하여 설계하였다. RFU의 상향 링크의 규격을 표 2에 나타내었다.

그림 5에 상향 링크의 블록도를 나타내었다. CMD/TLM Unit에서 출력된 Telecommand 신호를 다시 CMD/TLM Unit으로 보내어 시험 장비 자체의 경로를 시험하거나, 상향 링크를 이용해 Ranging 신호를 보낸 후 되돌아오는 신호를 시험장비 경로 내에서 시험하기 위해서는 경로 자체에 loop back 경로를 설정하여야 한다.³⁾ 본 논

표 2. RFU 상향 링크의 설계 규격

항 목	설계 규격	
입력 주파수	70 MHz	
출력 주파수	2055.3 MHz	
입력 전력 범위	-30~0 dBm	
삽입 손실	15 dB max	
감쇄	범위	60 dB
	정확도	±2 dB max
IMD3	60 dBc at -10 dBm	
Impedance	50 Ω	
VSWR	1.5 : 1 max	
공급 전압	24 VDC, ±5 VDC	
소모 전류	1 A max	

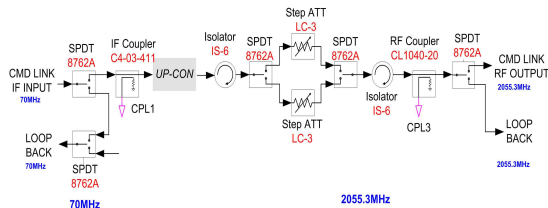


그림 5. RFU 상향 링크의 구성도

문에 사용된 SPDT 스위치의 삽입 손실은 0.25 dB이고, IF와 RF 커플러는 각각 0.6 dB, 0.25 dB이다. 또한 RF단의 가변 감쇄기와 아이솔레이터의 삽입 손실은 각각 5.5 dB와 0.5 dB로 나타났다. 주파수 상향 변환기의 이득을 0 dB로 설정하고 계산하였을 때 총 삽입 손실은 8.35 dB이다. 이때 동축선로의 삽입 손실을 고려하면 약 13 dB 발생할 것으로 예상된다. RFU의 하향 링크의 설계 규격은 표 3에 나타내었다.

CMD/TLM Unit에서 받는 신호의 규격은 -95 dBm ~ -5 dBm이다. RFU의 출력신호는 CMD/TLM Unit으로 -10 dBm이 입력되도록 설정하였다. CMD/TLM Unit은 자체에서 하향 링

표 3. RFU 하향 링크의 설계 규격

항 목	설계 규격
입력 주파수	2232 MHz
출력 주파수	70 MHz
출력 전력	-10 dBm max
삽입 손실	10 dB max
Impedance	50 Ω
VSWR	1.5 : 1 max
공급 전압	24 VDC
소모 전류	2 A max

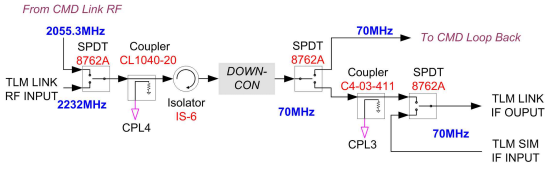


그림 6. RFU 하향 링크의 구성도

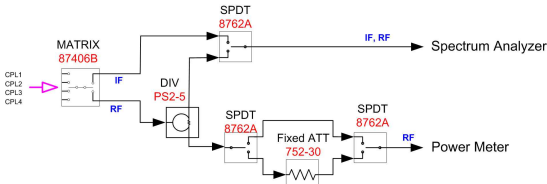


그림 7. 신호 측정부의 구성도

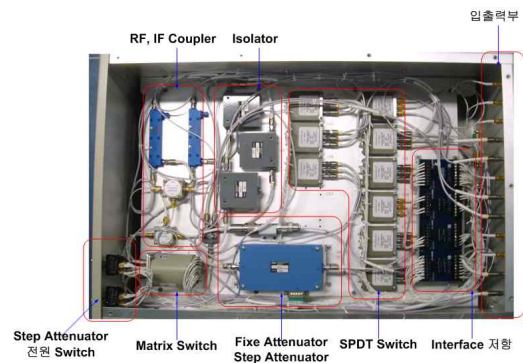


그림 8. RFU 제작 사진

크 신호를 출력한다. 이 신호를 TLM 입력단자로 보내줄 수 있도록 IF단에서 loop back 회로를 설계하였다. 설계 결과 하향 링크의 총 삽입 손실은 2.1 dB로 나타났는데, 동축선의 삽입 손실을 고려하면 약 5 dB 정도 예상된다. 따라서 입력신호의 크기를 -6.45 dBm이라 가정하면 CMD/TLM Unit에서 받는 신호의 크기는 -8.3 dBm이다. 동축선의 삽입 손실을 포함한 출력전력은 주파수 하향 변환기의 이득을 가변하여 조절할 수 있다. RFU의 하향 링크의 구성도를 그림 6에 나타내었다.

상향 링크의 IF단과 RF단, 하향 링크의 IF단과 RF단의 출력신호의 특성을 파악할 수 있도록 커플러를 삽입하였다. 측정부의 구성도는 그림 7과 같다.

각 단에서 Coupling된 신호들은 6 Port Matrix 스위치로 입력된다. 6 Port Matrix 스위치는 4개의 입력단자와 2개의 출력단자로 나누어 지는데, 2개의 출력단자는 RF 출력단자와 IF/R

표 4. RFU의 상향 링크 측정 결과

항 목	측정 결과	
입력 주파수	70 MHz	
출력 주파수	2055.3 MHz	
입력 전력 범위	-30~0 dBm	
삽입 손실	9.8 dB	
감쇄	범위	90 dB
	정확도	± 0.4 dB
IMD3	60.99 dBc	
Impedance	50 Ω	
VSWR	1.09 / 1.14	
공급 전압	24 VDC ± 5 VDC	
소모 전류	0.6 A	

표 5. RFU의 하향 링크 측정 결과

항 목	측정 결과
입력 주파수	2232 MHz
출력 주파수	70 MHz
삽입 손실	3.96 dB
Impedance	50 Ω
VSWR	1.16 / 1.11
공급 전압	24 VDC
소모 전류	0.6 A

F 출력단자로 다시 나누어진다. RF 출력단자는 Power Meter 측정단자이고, IF/RF 출력 단자는 스펙트럼 분석기의 측정 단자이다.

그림 8에 나타낸 것은 제작한 RFU의 사진이다.

표 4와 표 5에는 RFU의 측정 결과를 나타내었다. 상향 링크의 삽입 손실은 총 9.8 dB, 감쇄기의 정확도는 ± 0.4 dB로 측정되었다. RFU는 출력이 -10 dBm이고, 주파수 상향 변환기의 변환이득이 30 dB일 때 IMD3는 60.99 dBc가 측정 되었다. 또한 하향 링크의 삽입손실은 3.96 dB로 나타났다.

2.3 RIU 설계 및 제작

표 6에 RIU의 상향 링크와 하향 링크의 규격을 나타내었다. 본 논문에서 설계한 RIU는 상향 링크와 하향 링크의 입·출력 단자와 안테나를 선택할 수 있는 2개의 안테나 단자로 구성하였다. 그림 9에 RIU의 구성도를 나타내었다. 상향 링크에서 하향 링크로의 loop back을 설정하고, 상향 링크 경로를 통해 CMD 주파수와 TLM 주파수 대역을 통과시키기 위해 광대역 써큘레이터를 사용하였고, loop back 신호가 상향 링크로

표 6. RIU의 설계 규격

항 목	설계 규격	
상향 링크	주파수	2055.3 MHz
	입력 전력 범위	-9 ~ -99 dBm
	삽입 손실	35 dB max
	주파수 분리도	17 dB max
	VSWR	1.5 : 1max
하향 링크	주파수	2232 MHz
	입력 전력 범위	31 dBm max
	삽입 손실	35 dB max
	주파수 분리도	17 dB max
	VSWR	1.5:1 max

표 7. RIU의 측정 결과

항 목	측정 결과	
상향 링크	주파수	2055.3 MHz
	삽입 손실	32.1 dB
	주파수 분리도	36 dB
	VSWR	1.1
하향 링크	주파수	2232 MHz
	삽입 손실	31.7 dB
	주파수 분리도	24.6 dB
	VSWR	1.17

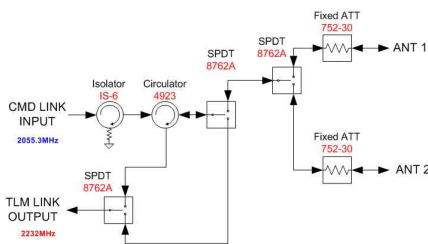


그림 9. RFU의 구성도

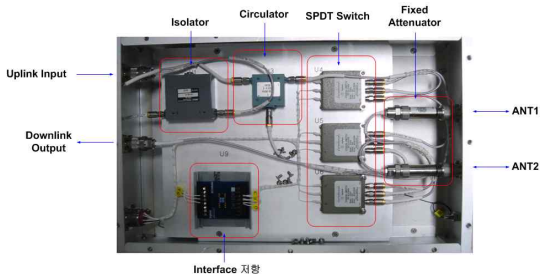


그림 10. 제작된 RIU 사진

유입되는 것을 방지하기 위해 입력단에 아이솔레이터를 삽입하였다. Loop back 경로의 절체와 안테나 선택을 위해 SPDT 스위치를 사용하였다.

그림 10에 RIU의 제작 사진을 나타내었다. RF 경로는 아이솔레이터와 써큘레이터, SPDT 스위치, 감쇄기로 구성하였고, 인터페이스 저항을 통해 SPDT 스위치 상태 정보를 외부로 보내주도록 제작하였다.

표 7에 RIU의 측정 결과를 나타내었다. 상향 링크와 하향 링크에서의 삽입 손실은 각각 36 dB, 31.7 dB로 나타났으며, 상향 링크와 하향 링크의 격리도는 36 dB, 24.6 dB로 측정되었다. 표 7로부터 설계 규격을 만족함을 알 수 있다.

2.4 RF 신호 시험장비 제작 및 측정

그림 11에 제작된 RF신호 시험장비의 사진을 나타내었다. RIU를 제외한 모든 장비를 19 inch, 34 U 크기를 가진 상용 랙에 장착하였고, 2 Bay를 사용하였다. 표 8에 RF 신호 시험장비의 측정 결과를 나타내었다. RIU는 Remote Box 형태로 제작하였다.

표 8. RF 신호 시험장비 측정 결과

항 목	측정 결과	
상향 링크	입력 주파수	70 MHz
	출력 주파수	2055.3 MHz
	입력 전력 범위	-2.2 ~ -32.2 dBm
	삽입 손실	47.8 dB
	감쇄 특성	90 dB ± 0.4 dB
	IMD3	60.68 dBc
	VSWR	1.09 / 1.17
하향 링크	입력 주파수	2232 MHz
	출력 주파수	70 MHz
	삽입 손실	42.6 dB
VSWR	1.16 / 1.1	

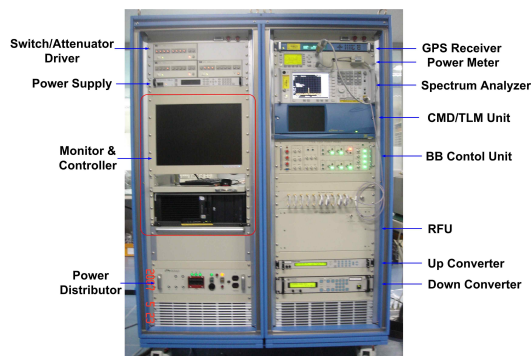


그림 11. RF 신호 시험장비 제작 사진

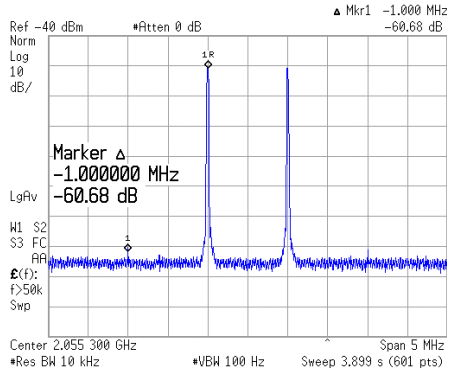


그림 12. 상향 링크 IMD3 측정

측정 결과 삽입 손실은 상·하향 링크 각각 47.8 dB와 42.6 dB로 나타났고, 송신단의 선형특성은 -50 dBm 출력에서 60.68 dBc의 IMD3 결과를 얻었다. 위성의 입력 조건을 만족하기 위한 신호를 출력하기 위해서는 CMD/TLM Unit에서 -2.2~-32.2 dBm의 출력이 되어야 한다. 그림 12에 상향 링크 IMD3 측정 결과를 나타내었다.

III. 결 론

위성의 Telecommand와 Telemetry 성능 시험을 위한 RF 신호 시험 장비를 설계 및 제작하였다. RF 신호 시험 장비는 CMD/TLM Unit과 Up/down converter, RFU, RIU으로 구성하였으며, GPIB 통신과 Ethernet 통신으로 원격 제어가 가능하도록 설계하였다.

CMD/TLM Unit과 주파수 변환기는 상용 제품을 구입하였고, RFU와 RIU는 직접 제작을 하였다. 제작된 시험장비는 상향 링크와 하향 링크는 각 단마다 loop back 경로를 두어 자체 시험이 가능하고, 커플러를 이용하여 각 링크별 RF 신호 특성을 모니터링 할 수 있도록 설계하였다.

본 논문에서 제작된 RF신호 시험 장비를 측정 한 결과 설계 규격을 모두 만족하였다. 제작된 시험 장비는 베이스밴드와 RF 부분이 통합되어 기존 장비에 비해 운용이 용이하며, 크기가 작아 설치가 편리하다. 또한 지상국에서 사용하는 장비의 규격을 만족하도록 설계하였기 때문에 운용 프로그램을 바꾸면 지상국으로 활용이 가능한 장점이 있다.

참고문헌

- 1) 김용훈 외 공저, "PC를 기반으로 한 위성용 지상 지원 장비(EGSE)구현에 관한 연구", 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집(상), 1998, pp. 1188-1191.
- 2) J. Jo., J. Park. and S. Lee., "Design and Implementation of EGSE for the CBS Transponder Testing", *21st AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit*, 2003, pp. 2407-2413.
- 3) J. Jo., D. Shin., J. Park. and S. Lee., "The Communication & Broadcasting Satellite(CBS) Transponder Testing by EGSE", *22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit*, 2004, pp. 3258-3264.