

통신해양기상위성 데이터 송수신 서브시스템의 구축 및 시험

박덕중[†], 김수진, 안상일
한국항공우주연구원 우주응용센터 위성운영실 지상체계개발팀

COMS DATS Implementation and Test

Durk-Jong Park[†], Su-Jin Kim, and Sang-Il Ahn

Ground System Development Department, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 305-333, Korea
E-mail: parkdj@kari.re.kr

(Received October 16, 2008; Accepted November 19, 2008)

요 약

DATS는 IDACS시스템을 구성하는 3개의 서브시스템중의 하나로써 통신해양기상위성과의 RF 통신링크를 통해 L-대역의 Sensor Data, LRIT, HRIT의 수신 및 S-대역 LRIT, HRIT의 송신을 담당한다. 이 논문에는 DATS의 구축 후 위성과의 접속에 필요한 기능 및 성능을 확인하는 시험 구성이 제안되어 있고 실제 수행된 결과들이 정리되어 있다. 우선 성능 확인을 위해 태양을 이용하여 G/T 및 EIRP를 측정하였고 요구되는 사양이 만족됨을 확인하였다. 기능 확인을 위해 RF loop-back test를 수행하여 DATS내부에서 MODEM/BB의 implementation loss외에는 BER 열화 요인이 없음을 확인하였다. 13m 안테나와 연동하여 일본의 기상위성인 MTSAT-1R로부터 사용자 데이터인 LRIT와 HRIT를 수신 받아 영상을 복원함으로써 L-대역의 수신기능을 검증하였다. S-대역 송신 기능은 13m 안테나의 외부에 시험용 안테나를 설치하고 이로부터 S-대역 LRIT와 HRIT의 스펙트럼을 획득함으로써 확인하였다. 수행된 시험결과를 통해 DATS는 발사 후 L-대역과 S-대역을 통해 위성과 통신을 함에 있어 필요한 기능 및 성능을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract

DATS which is one of three subsystems of IDACS is responsible to receive Sensor Data, LRIT and HRIT in L-Band and transmit LRIT and HRIT in S-Band from/to COMS satellite. This paper shows detailed test procedures used to verify the performance and functionality of DATS after its implementation was completely finished. As a part of efforts to verify key DATS performance, G/T and EIRP were measured by using solar flux density as radio source. Regarding the verification of DATS functionality, RF loop-back test was conducted to validate if there is no BER degradation excepting MODEM/BB implementation loss occurred in the integrated DATS. Integrated with 13m antenna, DATS successfully restored image from received MTSAT-1R broadcasting data, LRIT and HRIT, of which frequencies are all L-Band. S-Band transmission was also verified through test antenna placed away from 13m antenna by measuring real LRIT and HRIT spectrum in S-Band. From those test results,

[†]corresponding author

적으로 결정하였다. 설계 이후, 구축에 필요한 장비에 대해 단위레벨의 검증시험을 통해 각 장비에서 요구되는 사양이 모두 만족됨을 확인하였다. 이러한 장비들의 연결을 통해 DATS 및 13m 안테나의 구축이 완료되었다. 그림 1은 대전 한국항공우주연구원내에 위치한 위성운영센터의 DATS구성을 나타낸 것이다.

위성으로부터 수신 받은 L-대역의 SD, LRIT, 그리고 HRIT는 안테나의 피드에 있는 polarizer를 통해 RHCP(Right Hand Circular Polarization) 및 LHCP(Left Hand Circular Polarization)의 두 채널로 분리되고 이들 신호들은 L-대역 저 잡음 증폭기(LNA, Low Noise Amplifier)와 하향 주파수 변환기(D/C, Down Converter)를 통해 MODEM/BB로 입력된다. MODEM/BB에서는 두 채널의 신호를 DCU(Diversity Combining Unit)를 통해 결합시키고 이후 복조 및 베이스밴드 처리를 통해 최종적으로 프레임 동기 및 RS(Reed-Solomon) 복호화과정을 수행한다. 처리된 SD의 각 프레임은 다음 단계에 위치한 IMPS(IMAGE Preprocessing Subsystem)의 요청 메시지에 따라 MODEM/BB에서 CCSDS(Consultative Committee for Space Data Systems) de-commutation된 뒤에 TCP/IP를 통해 IMPS로 전송되어 전처리가 수행된다. 한편 LHGS(LRIT/HRIT Generation Subsystem)로부터 LRIT와 HRIT의 CADU(Channel Access Data Unit)는 TCP/IP를 통해 MODEM/BB로 입력되고 BPSK(Binary Phase-Shift Keying)와 QPSK(Quadrature Phase-Shift Keying)등의 변조가 각각 수행된다. 이후 S-대역 상향주파수 변환기(U/C, Up Converter)와 전력증폭기(SSPA, Solid State Power Amplifier)를 통해 생성된 S-대역 LRIT와 HRIT는 TTC(Telemetry, Tracking and Command)에서의 원격명령신호와 결합된 뒤에 안테나를 통해 위성으로 전송된다.

이 논문에서는 DATS의 성능 및 기능 검증을 위한 시험구성이 제안되어 있고, 이에 따라 실제 수행된 시험결과가 정리되어 있다. DATS의 성능은 L-대역 수신과 S-대역 송신에 따라 G/T와 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)로 구분할 수 있다. 이러한 성능의 측정은 안테나가 태양을 지향하였을 때와 그렇지 않을 경우의 잡음 레벨차이를 이용하여 수행되었다. 특히 S-대역 안테나 이득은 기준안테나를 설치할 수 있는 타워의 구축이 현실적으로 불가능한 상태임에도 태양을 이용하도록 제안된 시험 구성을 통해 측정을 할 수 있었다. DATS 기능의 검증은 기본적으로 L-대역의 수신 및 S-대역의 송신이 가능함을 확인하는 것인데 안테나와 연동하기 전에 우선 DATS 내부적으로 RF loop-back 시험을 통해 BER(Bit Error Rate)의 열화 정도를 측정하여 구축된 DATS에서 MODEM/BB의 implementation loss외에는 열화를 발생시키는 요인이 없음을 확인하였다. 이후에 L-대역 수신이 가능함을 확인하기위해 13m 안테나와 연동하여 현재 운용되는 일본의 기상위성인 MTSAT-1R로부터 LRIT와 HRIT의 수신 및 영상복원을 하였다. S-대역의 송신기능은 13m 안테나의 외부에 시험용 안테나를 설치하고 이로부터 유기되는 신호의 스펙트럼을 획득함으로써 확인되었다.

2. DATS 성능 검증시험

구축된 DATS의 성능 검증은 태양을 이용하여 수행하였다. L-대역의 수신 성과와 관련해서 G/T를 측정하였고 S-대역의 송신 성과와 관련해서 안테나의 이득을 측정한 뒤에 EIRP를 계산하였다. 보통 안테나의 이득을 측정하기 위해서는 시험안테나에서 기준 안테나로 신호를 인가한 뒤에 기준 안테나의 이득과 안테나사이의 거리에 대한 손실을 보상함으로써 시험안테나의 이득을 산출할 수 있

표 1. G/T를 산출하기 위한 파라미터 정리.

Parameters	Values
k	1.380658×10^{-23} joule/K
S	58.04×10^{-22} W/m ² /Hz
λ	0.18m
$A(\theta)$	0.048dB
K_1	1.01
HPBW	0.9degree
K_2	1.135

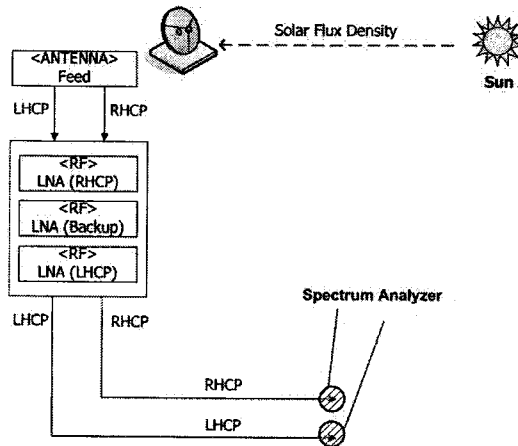


그림 2. Y-factor를 측정하기 위한 시험 구성.

으나 외부로부터 전자파의 차폐가 이루어지지 않은 환경에서는 낮은 고각에 대한 혼신호의 영향 등으로 오차가 생성된다. 또한 현실적으로 기준 안테나의 설치를 위한 안테나 타워의 구축이 불가능함으로써 이를 해결하고자 태양을 이용하는 방법을 적용하여 안테나의 이득을 측정할 수 있었다.

2.1 L-대역 G/T 측정

태양을 이용한 G/T측정은 안테나가 태양을 지향하였을 때와 그렇지 않을 때의 수신 잡음레벨의 차이를 통해 수신 성능을 확인하는 것이다. 잡음레벨의 차이가 측정되면 식 (1)을 통해 G/T를 산출하게 된다(Guidice & Castelli 1971).

$$G/T = \frac{8\pi k(Y - 1)}{S\lambda^2} K_1 K_2 \tag{1}$$

여기에서 Y는 잡음레벨의 차이(Y-factor)이고, k는 볼츠만 상수이며, λ는 파장을 나타낸다. 또한 S는 solar flux density이며 K₁과 K₂는 각각 대기 손실 및 태양의 보이는 면적에 대해 안테나 패턴의 변화를 보상한 것이다. S는 매사추세츠, 하와이, 호주 그리고 이탈리아에 설치된 관측소에서 주파수별로 관측되어 웹사이트를 통해 제공된다. 최근 45일간의 solar flux density는 http://www.sec.noaa.gov/ftpd/ftpdir/lists/radio/45day_rad.txt에서 확인할 수 있다. K₁은 ITU-R(International Telecommunication Union-

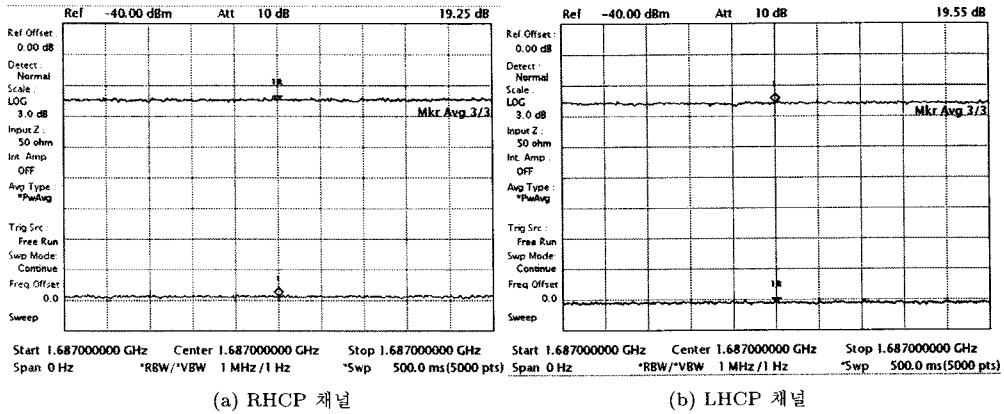


그림 3. 측정된 Y-factor.

Radiocommunication)의 권고사항을 참고하여 안테나의 고각에 따른 대기 손실, $A(\theta)$ 을 산출한 후 식 (2)에 의해 계산된다(Maral & Bousquet 2003).

$$K_1 = 10^{\frac{A(\theta)}{10}} \quad (2)$$

K_2 는 안테나의 HPBW(Half-Power Beam Width)로부터 식 (3)에 의해 계산되어진다(Daywitt 1986).

$$K_2 = \frac{x}{1 - e^{-x}}, \quad x = \frac{0.2106}{HPBW^2} \quad (3)$$

표 1은 G/T를 산출하기 위한 파라미터의 값을 정리한 것이다. 그림 2는 안테나가 태양을 지향하였을 때와 그렇지 않을 때의 잡음레벨 차이를 측정하는 시험 구성을 나타낸 것이다.

Y-factor의 측정은 13m 안테나가 COMS위성을 지향할 때를 고려하여 고각을 45 ~ 50도로 설정한 뒤에 수행되었다. 측정방법은 고각을 고정된 뒤에 양각을 변화시키면서 나타나는 가장 낮은 잡음레벨과 태양을 지향하였을 때의 잡음레벨의 차이를 스펙트럼 분석기로 확인하였다. DATS는 L-대역의 SD를 수신한 뒤에 RHCP와 LHCP의 두 채널로 분리하기 때문에 두 채널에 대한 각각 저 잡음 증폭기의 출력에서 Y-factor를 측정하였다.

그림 3은 스펙트럼 분석기에서 측정된 Y-factor를 나타낸 것이다. 측정결과 RHCP채널에서는 Y-factor가 19.25dB이고 LHCP채널에서는 19.55dB임을 알 수 있었다. 측정된 Y-factor와 표 1의 파라미터를 식 (1)에 대입하여 계산된 RHCP와 LHCP채널의 G/T는 각각 22.56dB/K, 22.87dB/K임을 알 수 있었다.

2.2 S-Band EIRP 측정

EIRP는 안테나의 이득과 전송하는 전력증폭기의 출력 전력의 관계에 의해 측정된다. 전력증폭기의 출력 전력은 입력된 신호에 대해 출력되는 신호의 전력을 파워미터나 스펙트럼 분석기로 측정하여 알 수 있으나 안테나의 이득은 별도의 기준 안테나를 이용하는 방법 외에 태양으로부터 S-대역에서의 G/T를 측정된 뒤에 시스템 잡음 온도인 T를 제거하는 방법으로 측정할 수 있다(Kreutel & Pacholder 1969).

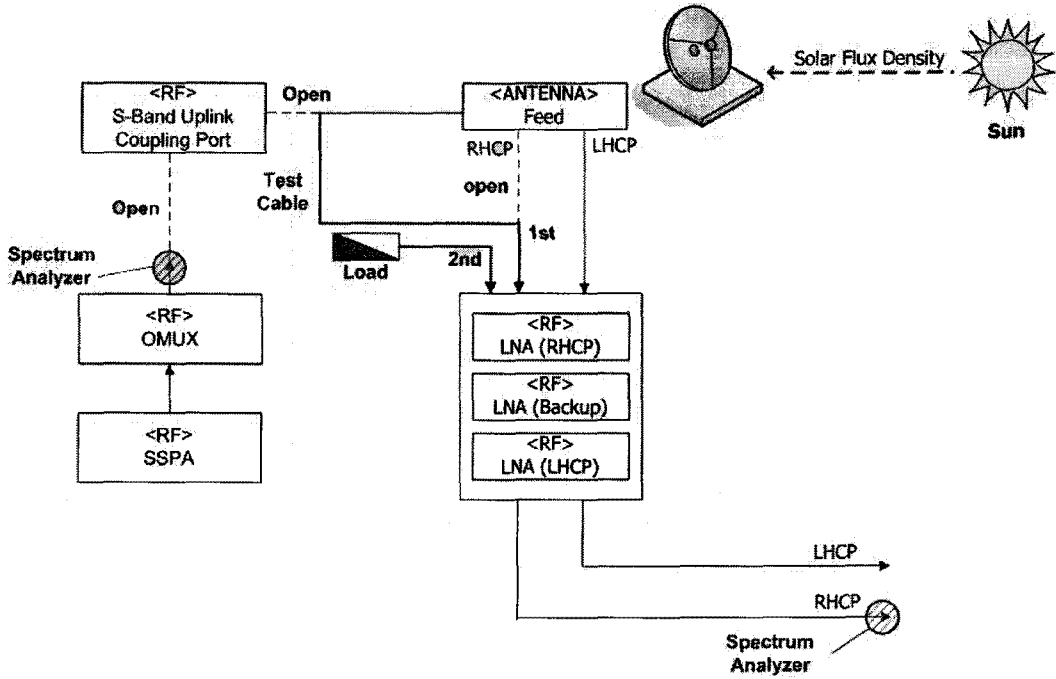


그림 4. EIRP를 측정하기 위한 시험 구성.

표 2. 안테나 이득을 산출하기 위한 파라미터 정리.

Parameters	Values
G/T	22.84dB
Y	3.6dB
T _{sys}	22.18dB
Test Cable Loss	1.91dB
Antenna Gain, G _{ANT}	46.93dB

그림 4는 EIRP를 측정하기 위한 시험 구성을 나타낸 것이다. S-대역 송신 주파수에서의 G/T를 측정하기 위해 피드와 S-대역 송신 시험용 출력 단자(S-Band Uplink Coupling Port)사이의 연결을 해제한 후에 피드를 RHCP채널의 저잡음 증폭기로 연결하였다. G/T의 측정이 완료된 후 시스템 잡음온도인 T를 산출하기 위해 가장 낮은 잡음 레벨이 나타나는 곳인 cold sky를 지향하도록 안테나의 방향을 설정한 상태에서 잡음 레벨을 측정하고 이후에 저 잡음 증폭기의 입력에 피드와의 연결을 해제하고 50Ω의 종단부하를 연결시켜 역시 잡음 레벨을 측정한다. 이로부터 시스템 잡음 온도는 식 (4)에 의해 계산되어진다.

$$T_{SYS} = 10 \log_{10}[T_{LOAD}(K) + T_{LNA}(K)] - Y \quad (4)$$

여기에서 T_{sys}는 데시벨 단위의 시스템 잡음 온도이고, T_{LOAD}와 T_{LNA}는 각각 종단부하와 저잡음

표 3. DATS 성능시험 결과.

Test Case	Specification	Test Output	Pass/Fail
L-Band G/T	$\geq 19\text{dB/K}$	RHCP: 22.56dB/K LHCP: 22.87dB/K	Pass
S-Band EIRP	$\geq 57\text{dBW}$	68.1dBW	Pass

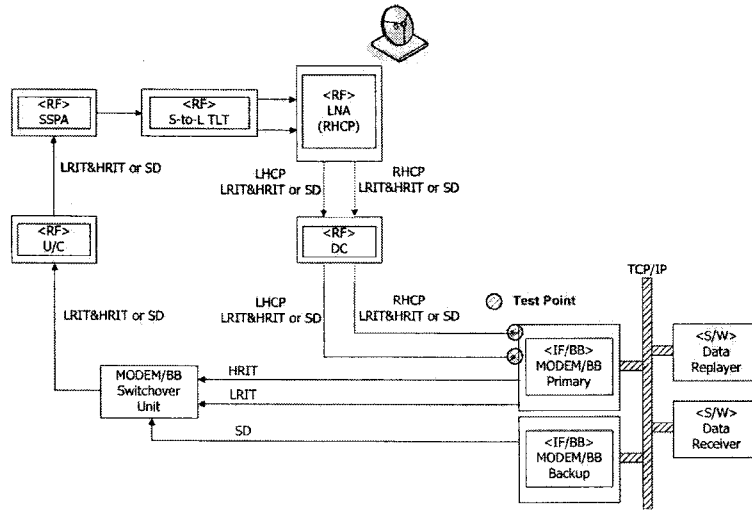


그림 5. 내부 BER Degradation 확인을 위한 시험 구성.

증폭기의 잡음 온도이다. 끝으로 Y는 안테나가 cold sky를 지향하였을 때 피드와의 연결을 통해 측정된 잡음 레벨과 중단부하를 연결할 때의 잡음 레벨의 차이이다. 안테나의 이득은 일단 S-대역 송신 주파수에서 측정된 데시벨 단위의 G/T에서 식 (4)에 의해 구하여진 T_{SYS} 를 더하여서 얻은 저 잡음 증폭기 입력에서의 이득에 다시 테스트 케이블의 손실을 보상하면 산출된다. 표 2는 안테나의 이득을 산출하기 위한 파라미터의 값을 정리한 것이다.

전력증폭기의 출력에 있는 출력신호 결합기(OMUX, Output Multiplexer)와 S-대역 송신 시험용 출력단자(S-Band Uplink Coupling Port)의 삽입손실 그리고 연결을 위한 cable의 손실이 2.83dB임으로, 24dBW의 전력증폭기 출력 전력으로부터 예상되는 EIRP는 안테나 이득을 고려할 때 68.1dBW가 됨을 알 수 있었다.

표 3은 앞서 수행된 DATS의 성능시험에 대한 결과를 정리한 것으로 모두 요구치를 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

3. DATS 기능 검증시험

기능 검증을 위해 RF loop-back 형태의 시험구성으로부터 BER(Bit Error Rate)의 열화를 확인하였고 MODEM/BB로부터 처리된 SD의 데이터를 TCP/IP를 통해 저장하여 손실된 프레임의 유

표 4. RF loop-back후 저장된 MI와 GOCI 원시 데이터의 크기.

No.	Received MI Raw Data Size [Kbytes]			Received GOCI Raw Data [Kbytes]		
	1 st Client	2 nd Client	3 rd Client	1 st Client	2 nd Client	3 rd Client
1	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
2	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
3	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
4	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
5	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
6	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
7	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
8	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
9	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079
10	619,360	619,360	619,360	630,079	630,079	630,079

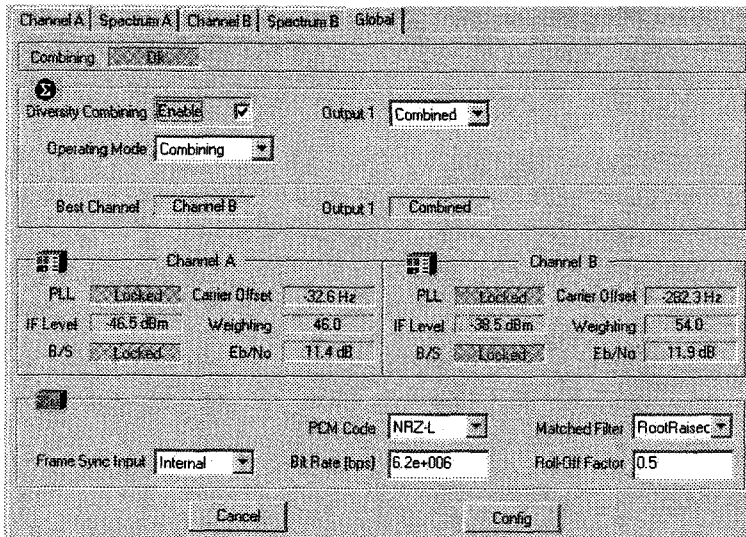


그림 6. SD 수신에 대한 MODEM/BB의 GUI.

무를 확인하였다. 외부로부터 L-대역에서의 수신이 가능함을 확인하기 위해 MTSAT-1R 위성으로부터 LRIT와 HRIT를 수신 받은 후 영상을 복원하였다. 또한 외부로의 S-대역에서 송신에 대한 확인은 시험용 안테나를 13m 안테나의 외부에 설치한 뒤 스펙트럼 분석기를 통해 S-대역의 LRIT와 HRIT의 스펙트럼을 획득함으로써 이루어졌다.

3.1 DATS 내부 BER 특성 열화 시험

그림 5는 구축된 DATS 내부에서의 BER 특성 열화를 확인하기 위한 RF loop-back 형태의 시험 구성을 나타낸 것이다. 시험을 위해 개발된 소프트웨어인 Data Replayer를 이용하여 시험용 SD의 CADU를 백업용 MODEM/BB로 TCP/IP를 통해 입력하고 이 MODEM/BB에서는 위성에서와 동일하게 변조를 한 뒤에 MODEM/BB Switchover Unit으로 전달된다. MODEM/BB Switchover Unit에

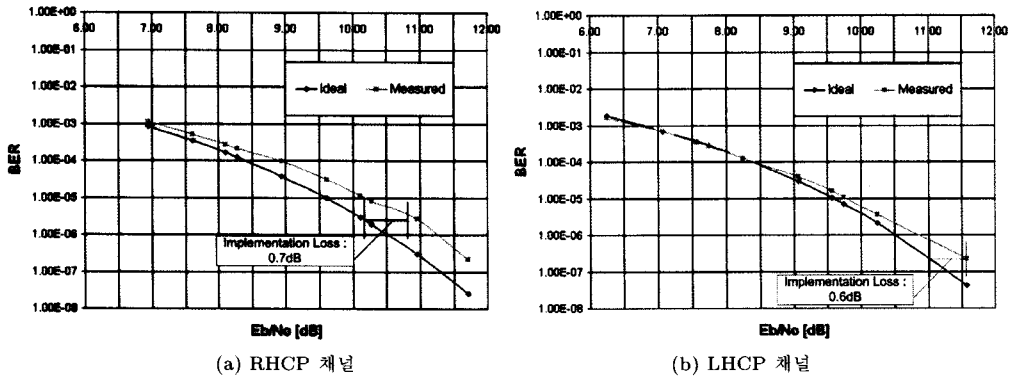


그림 7. 측정된 BER 곡선.

서 입력되어 선택된 LRIT&HRIT 혹은 SD는 S-대역 상향 주파수변환기와 전력증폭기로 전달된 뒤에 S-to-L TLT(Test Loop Translator)를 통해 L-대역으로 변환되어 주 MODEM/BB로 입력된다. 약 30분 정도의 전송시간을 갖는 시험용 SD는 복조 및 CCSDS처리 이후에 주 MODEM/BB로 전달된 Data Receiver의 요청 메시지에 의해 MI(Meteorological Imager) 원시데이터와 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager) 원시데이터의 형태로써 분리되어 저장된다. 이때 하나의 PC에는 총 6개의 Data Receiver가 수신 클라이언트로서 동시에 데이터를 저장하도록 설정되어 있었다.

표 4는 총 10번의 반복시험에서 Data Receiver를 통해 저장된 MI 원시 데이터와 GOCI 원시 데이터가 프레임 손실 없이 정상적으로 저장된 결과를 나타낸 것이다. PN(Pseudo-Noise) 부호화 데이터를 이용하여 BER의 열화 정도를 측정하였으며 이를 위해 MODEM/BB의 입력에서 스펙트럼 분석기를 이용하여 C/No(Carrier to Noise Density)를 측정하였다.

그림 6은 주 MODEM/BB에서 RHCP와 LHCP의 두 채널로 SD를 입력받아 결합하는 DCU의 GUI(Graphic User Interface)를 나타낸 것이다. Channel A는 RHCP채널이고 Channel B는 LHCP 채널이다. 두 채널의 신호 레벨에서 차이가 있는 것은 RHCP채널에 대해 모니터링용 3dB divider를 설치하였기 때문이다. 비트 동기화 후의 Eb/No는 실제 위성운영 시에 예상되는 가장 최악의 경우를 고려하여 설정된 11.4 ~ 11.9dB에 대해 2.6dB의 다이버시티 결합 이득을 보상하면 최종적으로 13dB 이상이 됨을 확인할 수 있다.

그림 7은 변조된 SD의 신호 레벨을 변화시키면서 측정한 BER 곡선을 나타낸 것이다. 측정결과로써 RHCP채널의 경우 이론값에 비해 0.7dB의 차이가 있었고 LHCP채널에서는 0.6dB의 차이가 있음을 확인하였다. MODEM/BB의 implementation loss에 대한 사양이 1dB 이하임을 고려할 때 측정된 implementation loss는 수용할 수 있는 결과로써 판단되었다.

3.2 DATS 외부 송, 수신 시험

안테나와 연동하여 DATS 외부에서의 L-대역의 SD수신 기능과 S-대역의 LRIT, HRIT송신 기능을 확인하였다. L-대역의 SD신호 수신 기능을 확인하기 위해 이와 유사한 주파수 대역인 MTSAT-1R의 LRIT와 HRIT를 지난 2007년 12월 7일에 수신하였고 이로부터 영상을 복원하였다. 일본의 기상

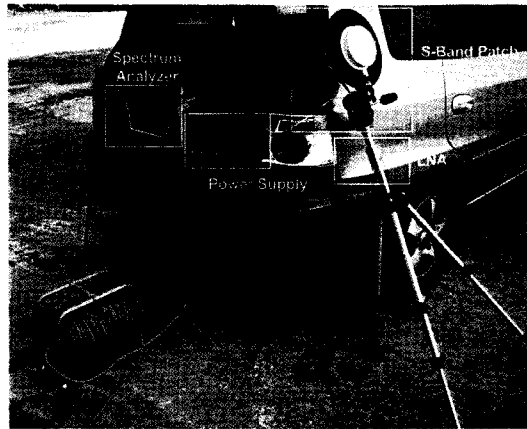


그림 10. 설치된 시험용 안테나 및 스펙트럼 분석기.

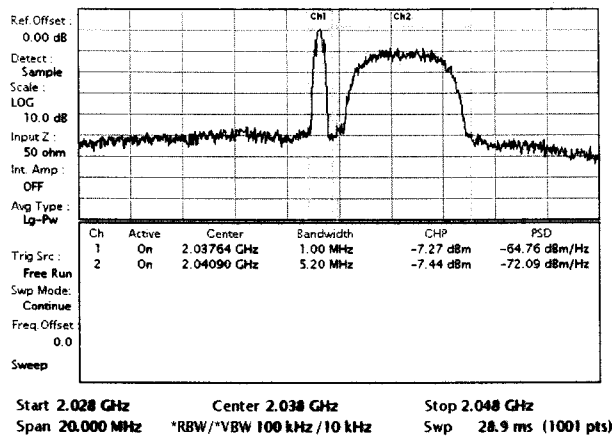


그림 11. 시험용 안테나로부터 획득된 S-대역 LRIT, HRIT 스펙트럼.

는 적외 3번 채널의 전지구 영상(D3-F06)이었다. 그림 9는 복원된 LRIT와 HRIT의 영상을 나타낸 것이다.

S-대역의 LRIT와 HRIT의 송신 기능을 확인하기 위해 시험용 안테나를 13m 안테나의 외부에 설치한 후에 스펙트럼을 획득하였다. 그림 10은 설치된 시험용 안테나 및 측정을 위한 스펙트럼 분석기를 나타낸 것이다.

그림 11은 시험용 안테나를 통해 수신되어 스펙트럼 분석기에서 나타난 LRIT와 HRIT의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 수신된 LRIT와 HRIT의 채널 전력차이는 안테나 내부에서의 전력증폭기출력에서 측정된 차이와 동일하게 약 0.2dB임으로 안테나를 통해 외부로 LRIT와 HRIT를 전송할 때 두 신호의 전송 대역의 특성은 변동되지 않음을 알 수 있었다. 표 5는 DATS의 기능시험에 대한 결과를 정리한 것으로 요구되는 기능을 모두 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

표 5. DATS 기능시험 결과.

Test Case	Test Output	Pass/Fail
BER Degradation Test (Specification: $\leq 1\text{dB}$)	RHCP: 0.7dB LHCP: 0.6dB	Pass
외부 L-대역 수신	MTSAT-1R의 LRIT와 HRIT의 수신 및 영상 복원	Pass
외부 S-대역 송신	외부 안테나에서 LRIT와 HRIT의 동일한 스펙트럼 획득	Pass

4. 결 론

이 논문에서는 COMS위성과 L, S-대역으로 통신하는 DATS의 성능 및 기능검증에 대한 시험 구성 및 결과가 정리되어 있다. DATS의 성능을 확인하기 위해 태양을 이용하여 L-대역의 G/T 및 EIRP를 측정하였다. 특히 안테나의 이득을 측정하기 위해 별도의 기준 안테나가 필요치 않도록 태양을 이용하여 측정하는 시험 구성 및 절차가 이 논문에서는 자세히 기술되어 있다. 기능을 확인하기 위해 DATS 내부에서 BER특성이 어느 정도 열화 되는지를 측정하였고 또한 반복적으로 RF loop-back된 시험 데이터를 수신한 후에 모든 저장된 파일 크기가 일정함을 확인하였다. DATS 외부로의 L-대역 수신 기능은 주파수의 측면에서 유사한 MTSAT-1R의 LRIT와 HRIT를 수신한 뒤에 이로부터 영상을 복원하여 확인할 수 있었다. S-대역의 송신 기능은 13m 안테나의 외부에 있는 시험용 안테나를 설치하고 이로부터 내부 전력증폭기의 출력에서와 동일한 채널 간 전력차이를 갖는 LRIT와 HRIT의 스펙트럼을 획득함으로써 검증되었다. 끝으로 이 논문에서 제안된 시험 구성들은 위성과 통신하는 일반지상국의 기본적인 검증시험에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글: 이 논문은 교육과학기술부 “통신해양기상위성 지상국 개발사업”의 일부임을 밝히며 연구 및 시험지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 임현수, 박덕중, 구인회, 강치호 2006, International Symposium on Remote Sensing 2006 (부산: 대한원격탐사학회), p.67
- Daywitt, W. C. 1986, 10-60 GHz G/T Measurements Using the Sun as a Source ? A Preliminary Study, NBSIR 86-3046
- Guidice, D. A. & Castelli, J. P. 1971, IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, AES-7, 226
- Kreutel, R. W. & Pacholder, A. O. 1969, Microwave Journal, 12, 61
- Maral, G. & Bousquet, M. 2003, Satellite Communication Systems (England: John Wiley & Sons Ltd)