

우리별 1, 2호 통신시스템

민승현¹, 명로훈², 최순달¹

¹한국과학기술원 인공위성연구센터, ²전기 및 전자공학과

KITSAT-1/2 COMMUNICATION SYSTEM

S. H. Min¹, R. H. Myung² and S. D. Choi¹

¹Satellite Technology Research Center, ²Department of Electrical Engineering
Korea Advanced Institute of Science and Technology

(Received March 20, 1996; Accepted May 4, 1996)

요 약

이 논문은 우리별 1, 2호 통신시스템의 설계와 제작에 대해 논한다. 통신시스템에 대한 요구 사항들을 분석하고 우리별 1, 2호 통신시스템의 설계 성능에 관하여 정리하였다. 또한 우리별 1, 2호 통신시스템의 설계와 성능이 기술되어 있다.

ABSTRACT

The paper discusses the design and construction of KITSAT-1/2 communication systems. Several requirements for the communication system have been analyzed and the specifications for KITSAT-1/2 communication systems have been summarized. Also the design and performance of KITSAT-1/2 communication systems is described.

1. 서 론

우리나라의 첫번째 위성인 우리별 1호는 프랑스 아리안 발사체(V52)를 이용하여 1992년 8월 10일 23시 07분(GMT)에 고도 1,300km, 경사각 66°의 원형궤도로 발사되었다. 우리별 1호에는 CCD 지표면 촬영장치, 디지털 신호처리 장치, 우주방사능 피폭량 측정장치 그리고 축적 및 전송 통신 실험 탑재물 등 4가지 탑재체가 장착되어 있다.

우리나라의 두번째 위성인 우리별 2호는 프랑스 아리안 발사체(V59)를 이용하여 1993년 9월 25일 22시 45분(GMT)에 고도 800km, 경사각 98°의 태양동기 원형궤도로 발사되었다. 우리별 2호의 버스 시스템은 우리별 1호와 거의 동일하며 국내에서 개발된 각종 탑재체들이 탑재

되었는데, CCD 지표면 촬영장치, 디지털 신호처리 장치, 저에너지 전자 검출기, 적외선 감지기, 차세대 위성용 병렬 처리 컴퓨터 및 디지털 데이터 축적 및 전송 장치 등 6가지 탑재체가 장착되어 있다. 위성 총 중량은 48.2 kg이다.

우리별 1, 2호 위성 시스템은 위성의 상태정보 및 명령을 교신할 목적으로 한국과학기술원 명령 지상국과의 통신 링크를 가지고 있다. 또한 전세계를 대상으로 한 축적 및 전송 통신 실험을 수행하기 위해 무선 링크를 제공하도록 설계되었다. 현재 우리별 1, 2호의 통신시스템은 궤도상에서 운용되고 있으며, 정해진 임무를 수행하고 있다.

본 글에서는 우리별 1, 2호 통신시스템의 설계 과정을 논하기 위하여 요구사항을 분석하고 이를 토대로 한 시스템의 구조와 성능 설계 과정을 기술하였다.

2. 통신시스템의 설계

2.1 요구사항

위성은 발사되고 나면, 명령 지상국에 의해서 무선 링크를 통해서 감시되고 조정을 받는다. 일단 위성이 바른 궤도 및 자세를 가지게 되면, 위성의 임무에 관계된 서비스에 할당된 주파수대의 링크를 사용하기도 하지만, 발사 초기단계나 위성 자세가 안정되지 못한 경우는 물론 정상운용 단계에서도 위성의 TT&C(원격 명령, 검침, 추적) 기능을 위한 무선 링크가 필요하다. 아울러 우리별 1, 2호에서는 축적 및 전송 실험을 위한 무선 링크가 필요한데, 송신기의 전력소모나 TT&C 링크의 이용빈도 등을 고려하여 우리별 1, 2호 통신시스템은 하나의 하드웨어로 두가지 기능을 지원하도록 설계되었다.

우리별 1, 2호의 운용에 있어서, 통신시스템이 만족해야 할 요구사항이 다음과 같이 정의되었다(SaTReC 1992, 1993).

- 기능 : 원격명령, OBC 프로그램, 축적 및 전송 실험용 통신패킷 수신 및 분배
원격검침부/OBC/탑재체 데이터를 송신
- 전송속도 : 협대역 주파수변조(NBFM) 송수신기로 처리가능한 최대속도
- 지상 통신 영역 : 위성 궤도상 가시영역내의 지표면
- 이용 빈도 : 발사 초기운용/정상운용/비상운용 단계에서 계속적으로 명령 수신 가능할 것
초기 인식단계 이후 계속적으로 송신이 가능할 것
- 비트 오류 : 10^{-5} 이하
- 인터페이스 : 우리별 1, 2호 본체 시스템에 수용가능할 것

2.2 요구사항 분석

2.2.1 전송속도

통신시스템에서 주고받을 정보의 종류에 따라 필요한 통신 속도가 달라진다. 원격명령은 순차적인 동작 명령을 제외하고는 주로 실시간으로 동작하며 빠른 속도를 요구하지 않는다. 원격명령 외에 위성이 수신할 데이터로는 OBC 프로그램이 있다. 이 데이터의 경우 전송속도가 빠를수록 좋겠지만, OBC 주변 장치의 용량이나 복잡성, 그리고 대역폭의 제한을 고려하여 결정되어야 한다. 위의 두가지 다른 성격의 데이터를 수신하기 위하여 두가지 다른 수신 장치를 준비할 수도 있지만 우리별 1, 2호에서는 하나의 수신기로 수신하여 다른 변복조 방법으로 데이터를 검출하도록 설계하였다. 이를 통해 소모전력과 공간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 원격명령은 1,200bps, OBC로 전달되는 데이터는 NBFM 송수신기와 PC를 이용하여 처리할 수 있는 9,600bps의 속도로 수신하도록 하였다. 원격검침의 경우, 실시간으로 송신할 경우 1,200bps이면 256byte를 1 frame으로 할 경우 1~2초 간격으로 송신이 가능하다. 9,600bps의 속도로 원격검침 정보와 통신 정보를 같이 전송할 경우 수초 이상의 frame 간격을 얻을 수 있다.

2.2.2 데이터 량

통신시스템을 설계함에 있어 보내어야 할 정보의 양이 정해져 있는 경우, 얼마나 빠른 속도로 얼마나 긴 시간동안 보내야 하는지 알기 위해서 데이터의 분량을 예상할 필요가 있다. 우리별 1, 2호의 경우 원격명령 외에 OBC의 소프트웨어 등을 수신하거나 OBC 각종 log file과 저속의 탑재물의 결과를 지상으로 송신할 경우이다. OBC booting 초기상태에 약 600kbyte의 데이터를 보내어야 하고 정상상태에서 1일당 수십 kbytes의 데이터를 보내어야 할 것이다. 9,600bps이면 2~3번의 pass로 booting할 수 있고, 1~2분내에 운용에 필요한 데이터를 수신할 수 있을 것이다. 송신의 경우 데이터의 분량이 일일당 300~600kbytes가 될 것이다. 9,600bps 링크로 1~2번의 pass내에 모두 전송이 가능할 것이다.

2.2.3 변조 방식

변조 방식은 C/No에 대한 비트오율 성능을 결정짓고 송수신기의 복잡성을 결정하는 중요한 요소이다. 하나의 변조 방식에 대한 요구사항으로는 전력소모량을 줄이기 위하여 비선형 증폭기를 이용할 수 있어야 한다는 것이다. 우리별 1/2호에서는 송수신기가 간단하고 비선형 증폭이 가능하다는 이유에서 전변조 여파를 이용한 주파수편이 변조방식(FSK)을 선택하였다. 이 방식을 이용할 경우 13.1dB의 Eb/No에서 2.5×10^{-5} 의 비트 오율 성능을 가진다. 실험을 통해서 얻은 결과를 참조하면, 상용 NBFM 수신기를 이용할 때 약 3dB의 구현 손실을 가진다.

보다 나은 비트 오율 성능을 원할 경우 위상편이변조방식(PSK)이나 최소편이변조방식(MSK)을 이용하여 3~4dB를 개선할 수 있으나, 송수신기가 복잡해지고 전력 소비가 커져야 하는 단점이 있다.

2.2.4 소모전력

통신시스템 중 TT&C 링크는 위성의 운용 중 항상 동작되어야 하므로, 그 전력소모는 전력 시스템의 설계 및 운용에 큰 영향을 미친다. 즉 송신기내의 전력 증폭기는 다른 시스템의 모듈보다 많은 모듈이다. 따라서 이 전력 증폭기의 DC-to-RF 효율이 위성 본체부의 기본 전력 필요량에 미치는 영향은 지대하다. 우리별 1, 2호에서처럼 통신시스템이 소모전력의 많은 부분을 차지하는 경우, 비상상태 동작을 고려하여 되도록 전력소비가 작을 필요가 있다. 따라서 7 W 이하로 소모전력을 제한하였다.

2.2.5 무게

우리별 1, 2호에는 전체 50kg중 통신시스템에 약 2kg의 무게가 배정되어 있다. 안테나의 무게는 되도록 가볍게 설계되었다. 통신시스템의 무게의 10% 미만을 차지하도록 한다.

2.2.6 방사 형태

우리별 1, 2호에서, 위성의 자세가 안정되지 않는 초기 운영상태나 위성의 다른 부분이 고장이 난 경우에도 위성의 제어에 관계되는 TT&C 기능은 이상없이 동작해야 하므로, TT&C 링크의 접속성을 최대한 보장하기 위하여 위성의 모든 방향에 걸쳐 통신이 이루어지도록 무지향성 안테나가 이상적이다. 완벽한 무지향성 안테나는 개념상으로만 존재하며, 구조에 맞추어 이상적인 패턴에 근접하도록 설계되어야 한다. 경우에 따라서는 하나 이상의 안테나를 이용하여 빔 폭을 넓히는 방법을 쓸 수 있으나 다른 구조체와의 배치에 주의를 하여야 한다. 모든 방향에 대해서 같은 이득을 가지지 못하더라도 링크 이득을 충분히 유지할 수 있어야 한다.

2.2.7 송신 출력

송신기의 출력과 안테나 이득에 따라 정해지는 실효방사 전력은 하향 링크의 성능을 결정하는 중요한 수치이다. TT&C 송신기의 특성상, 무지향성에 가까운 안테나를 사용하고 전력 소모량이 제한되므로 그 값이 정해진다. 안테나 급전부에서의 손실을 최소로 줄이고 전력 증폭기의 DC-to-RF 효율을 높이는 것이 송신출력을 크게 하는 방법이다. 실효방사 전력을 크게 할수록 지상국의 이득을 줄일 수 있다. 요구치는 +3dBW이다.

2.2.8 이득 대 잡음 온도 비

이는 전체 수신 시스템의 수신 감도를 결정하는 수치이다. TT&C용 위성 수신기의 경우, 무지향성 안테나의 잡음 온도가 290K이므로 3dB의 수신기 잡음 온도를 가정할 때 700K 미만의 잡음 온도를 얻을 수 있다. 실제로는 인공 잡음이나 다른 잡음원의 영향으로 이 이상으로 커질 수 있다. 설계치는 -30dB/K 미만이다.

2.3 통신 시스템의 구조와 설계 성능

요구사항 분석을 거쳐 다음과 같은 구조와 설계 목표치를 선정하였다.

2.3.1 통신 시스템의 구조

우리별 1, 2호 통신 시스템은 UHF 송신기, VHF 수신기 그리고 안테나로 구성이 된다. 통신 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 신뢰도를 높이기 위하여 송신기는 하나의 동작 채널과 여분의 채널로 구성이 되고, 수신기는 3개의 독립된 채널로 구성이 된다. 사용 주파수의 선정은 국제전기통신연합의 주파수 분배에 의거하여 결정되었다.

송신기는 위상동기회로를 이용한 주파수 합성기, 전력 증폭기 그리고 변조기로 구성이 된다. 송신기는 위상동기회로를 이용한 주파수 합성기가 반송파를 발생시키고, 전력 증폭기를 통하여 원하는 세기의 고주파 신호를 만들어주는 구조를 가진다. 정상 동작시에는 2W 출력을 갖는 송신기-0가 사용되고 탑재물 실험을 위하여 10W 출력을 갖는 송신기-1이 준비되어 있다. 변조기는 위성 내의 각 부분에서 발생하는 디지털 신호를 주파수 합성기의 변조 입력에 맞는 주파수 성분과 진폭을 가지도록, 펄스 성형을 하는 회로이다. 두가지 변조 방식이 이용되는데, 9,600bps의 속도를 가지는 주파수편이 변조방식은 주 컴퓨터의 데이터를 보내는데 이용되고, 1,200bps의 속도를 가지는 가청주파수편이방식은 원격검침부의 정보를 보내는데 이용된다. 주파수편이방식 변조기는 데이터의 표본화, 비화 그리고 FIR여파를 거치는 구조로 되어 있고, FIR여파기의 응답계수를 바꾸어 줌으로써 통신링크의 왜곡을 보상할 수 있는 장점을 지닌다. 주파수합성기는 ROM에 기록된 8개의 송신주파수 중 하나를 발생시키고 변조입력에 들어오는 신호에 맞추어 반송파를 주파수 변조한다. 송신기의 변조계수는 NBFM 수신기의 대역폭에 맞

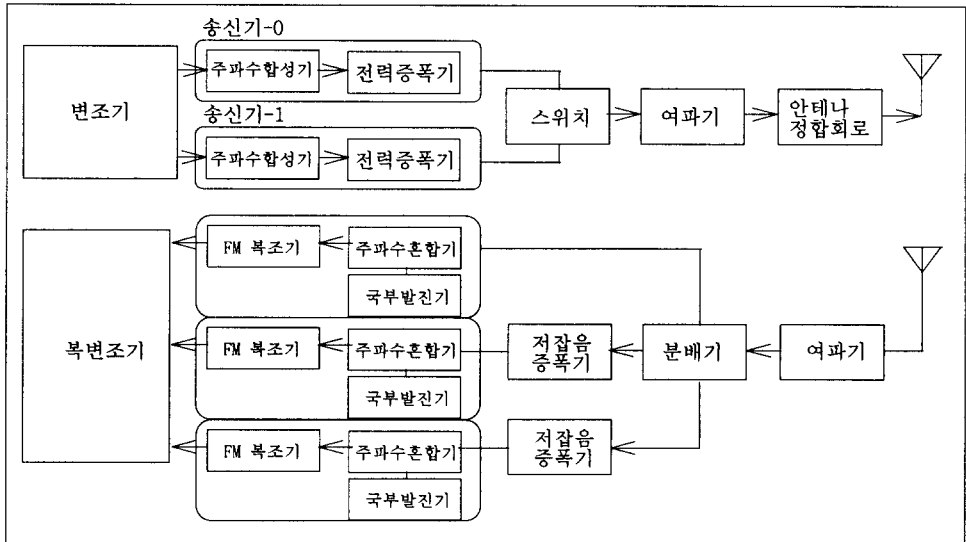


그림 1. 우리별 1호 통신시스템의 구조.

도록 결정되어야 하며 주파수편이방식의 경우는 0.7로 정해졌다. 위성체에서 발생하는 전력 중 가장 많은 부분이 전력 증폭기에서 소모된다. 따라서 태양전지의 발생전력의 제한과 요구 방사전력의 획득이라는 필요를 맞추기 위하여 소모전력 대 고주파 방사전력 비율이 높은 C급 전력증폭기가 이용되었다. 전력증폭기의 동작을 알아보기 위하여 최종단 트랜지스터의 온도, 전향출력 그리고 반향출력을 감지하는 회로가 추가되었다. 전력증폭기를 통하여 증폭된 신호는, 고주파용 스위치를 거쳐 고조파를 제한하기 위한 송신여파기를 거쳐 안테나로 전달된다. 송신여파기는 헬리칼 코일을 이용한 공진체여파기로 구성되어 낮은 삽입 손실과 높은 고주파 입력용량을 가지도록 설계되었다. 송신여파기는 수신 주파수대의 신호를 제한하여 간섭을 줄일 수 있도록 수신 주파수대에서 70 dB 이상의 감쇄량을 가져야 한다.

안테나는 지구를 바라보는 방향인 위성체 -z면에 부착이 된다. 위성체의 크기가 송수신 전파의 파장보다 크지 않기 때문에 되도록 크기가 작고 구조가 간단한 안테나를 선정할 필요가 있어서, 모노폴 안테나를 이용하였다. 모노폴 안테나의 특성상 도체와의 배열이 방사형태를 크게 좌우하게 되므로 방사형태를 고려하여 배치하였다. 송신 안테나는 송신파장의 반이 -z면 한 변의 길이와 같다는 점을 이용하여 4개의 모노폴 안테나를 -z면 네 모서리에 각각 배열하였다. 이를 위해 이들의 임피던스를 맞추어주는 정합회로를 채용하였다. 이 정합회로는 특성임피던스가 다른 세가지 동축선을 사용한 1/4파장 임피던스 변환기로 구성되어 있다. 그림 2는 송신안테나 정합회로의 구조를 보여준다. 수신안테나는 -z면 중앙에 위치하게 하였다.

수신기는 위성발사 이후 항상 동작을 하면서 지상으로부터의 정보를 수신하도록 설계되어 있다. 수신기는 슈퍼헤테로다인 방식을 이용하며, 수신여파기, 저잡음증폭기, 혼합기 그리고 FM 복변조기를 거쳐 신호를 재생하는 구조를 가진다. 도플러편이효과를 보상해주기 위하여 자동주파수제어회로가 사용되었다. 원격명령수신기는 저잡음증폭기를 거치지 않는데, 이는 감도를 높일 필요성이 없고 신뢰도를 높일 필요가 있기 때문이다. 수신기에서 검파된 신호는 복변조기를 거쳐 디지털 신호로 검출이 되고 위성 각 부분으로 보내어진다. 수신 데이터를 필요로 하는 부분으로는 주 컴퓨터, 보조컴퓨터, 원격명령부 그리고 각종 탑재물이 있다.

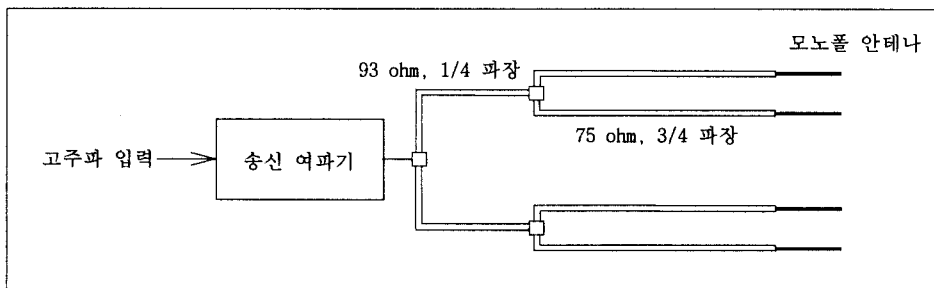


그림 2. 우리별 송신안테나의 구조.

2.3.2 설계 규격(SaTReC 1992, 1993)

송신기

송신 주파수:	435-438MHz
송신 채널 수:	최대 8개
주파수 분해능:	5kHz
변조대역폭:	10Hz~ 20kHz
변조 방식:	9,600bps FSK , 1,200bps AFSK , FM
운용 전압:	+12 ~ +14V
소모전력:	6W/20W 미만 - 우리별 1호 5W/15W 미만 - 우리별 2호
위상 잡음:	-70dBc at 1kHz offset
송신 출력:	2W/10W - 우리별 1호 1W/5W - 우리별 2호

수신기

수신 주파수:	145-148MHz
수신 채널수:	3개
변조 방식:	9,600bps FSK , 1,200bps AFSK , FM
소모전력:	1W 미만
잡음지수:	5dB 이하

안테나

주파수:	145-148MHz 435-438MHz
VSWR :	1.3 : 1 이하
편파 :	선형 편파

3. 통신시스템의 제작

우리별 1, 2호의 통신시스템은 두개의 모듈 박스와 배터리 박스의 일부 공간을 이용하여 탑재되었다. 수신기를 구성하는 수신여파기, 저잡음증폭기, 국부발진기 그리고 중간주파수 처리부는 0.5mm 두께의 구리판으로 차폐되었고 복조기는 양면회로기판에 구현되었다. 저잡음증폭기는 두 단의 트랜지스터 증폭회로를 이용하여 구성되었다. 국부발진기는 3체배 수정발진회로를 이용하여 구성되어 있고, 두개의 수정발진자 중 하나를 선택할 수 있다.

송신기의 경우 고주파 차폐를 위하여 모듈 박스를 가공하여 두개의 주파수합성기와 전력

증폭기를 장착하기 위한 폐쇄공간을 마련하고 조립하였다. 송신기의 회로는 집적도가 높고 고주파 특성이 좋은 표면실장부품을 이용하여 구현되었다. 송신기-0과 송신기-1의 회로를 다르게 하여 잠재적인 고장에 대비하였다. 송신기-1의 출력은 8dB까지 변동이 가능하게 하였다. 그림 3은 스펙트럼 분석기를 이용하여 본 우리별 2호 송신기-0의 출력을 보여준다.

안테나는 위성의 -Z면에 부착이 되며, 수신 안테나는 모노폴안테나로서 -Z면 중앙에 장착되고 송신 안테나는 4개의 모노폴안테나를 배열한 구조로 -Z면의 네 모서리에 각각 장착된다. 송신 안테나의 급전을 위해서 1/4파장 임피던스 변환기가 이용되며 배터리 모듈의 일부 공간에 장착된다. 모듈간의 연결은 동축선으로 이루어졌다. 그림 4는 수신안테나의 방사형태를 보여준다. 그림을 보면 위성의 직하점 방향으로 이득이 최하가 되어 링크의 질이 저하되는 데, 이는 지상에서 보면 80° 이상의 양각을 가지는 경우이고 통계적으로 총 pass시간 중 5% 미만의 시간을 차지한다.

그림 5는 우리별 1호 송신 안테나의 정재파비를 측정한 결과로서, 동작 주파수에서 정재파비가 1.2 미만으로 만족스러운 임피던스정합 특성을 보였다.

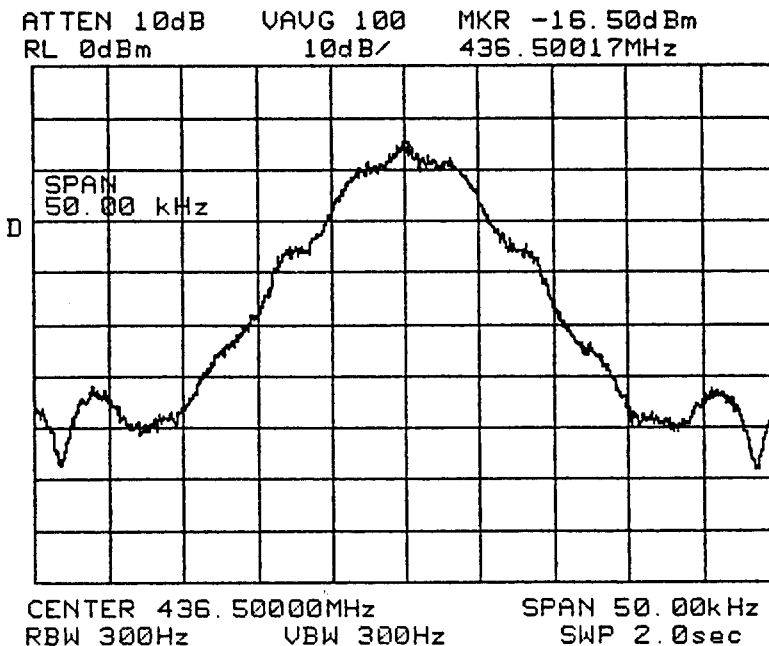


그림 3. 우리별 2호 송신기-0의 스펙트럼 파형.

4. 제작 결과

제작된 통신시스템은 장기간의 동작 시험, 온도 시험 그리고 열진공 시험을 거쳐 성능을 확인받았다. 표 1은 제작된 통신시스템의 성능을 정리한 것이다(SaTReC 1992, 1993).

그림 6은 우리별 1호 수신기의 BER 시험 결과이다. 앞서 설명한 바와 같이 수신기-0(Rx-0)의 감도가 수신기-1/2보다 23dB 낮은 이유는 저잡음증폭기를 거치지 않은 고주파신호를 직접 수신하기 때문이다. 그림 7은 인공위성연구센터 지상국에서 측정한 eye pattern을 보여준다. 여기에서 보면 sampling time에서 eye opening이 크고 eye 교차점에서 번짐이 작음을 알 수 있고 변조기의 채널보상기능이 잘 동작하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 8은 궤도상의 우리별 2호에서 보내온 송신기의 전향 출력 및 반향 출력을 표시한 것으로, 여기에서 송신기의 출력이 축전지의 전압에 연관되어 있다는 것을 알 수 있다. 축전지 전압의 변화는 태양전지판의 출력에 따라 변동되며, 위성이 지구를 돌면서 지구 그림자에 위치하게 될 때마다 축전지의 방전에 의해 전지 전압의 저하가 생긴다. 아래의 결과는 열 진공 시험을 통하여 확인된 결과와 일치하였다.

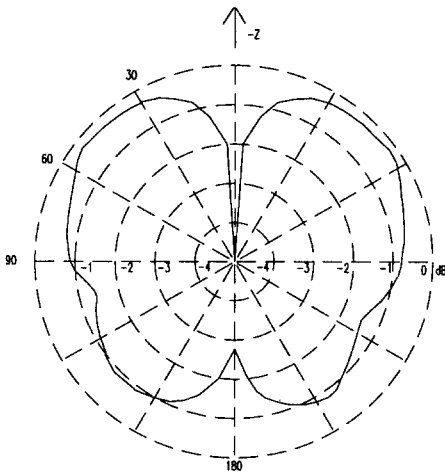


그림 4. 우리별 1호 수신안테나 방사형태.

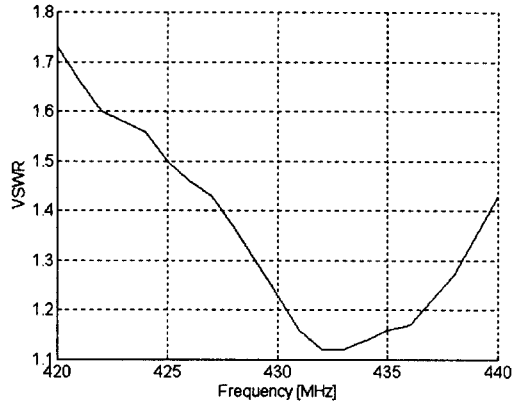


그림 5. 우리별 1호 송신안테나 정재파비.

표 1. 제작된 통신시스템 성능.

송신기	송신 주파수:	우리별 1호: 435.175MHz 우리별 2호: 436.500MHz, 435.175MHz
	주파수 변동:	13ppm, -20°C ~ +50°C
	변조 대역폭:	10Hz ~ 20kHz
	소모 전력:	6.2W / 19.4W 미만 - 우리별 1호 5.1W / 15.2W 미만 - 우리별 2호
	송신 출력:	최소 1.8W/ 9.3W - 우리별 1호 최소 1.2W/ 4.7W - 우리별 2호
수신기	수신 주파수:	144 ~ 148MHz
	소모 전력:	0.62W
	잡음 지수:	5.2dB
안테나	주파수:	143 ~ 151MHz 430 ~ 440MHz
	VSWR:	1.5 : 1 이하

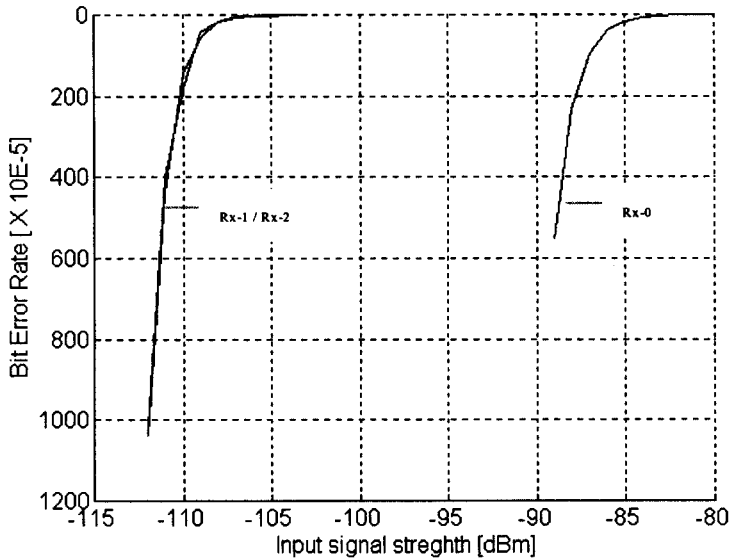


그림 6. 우리별 1호 수신기 BER 시험 결과.

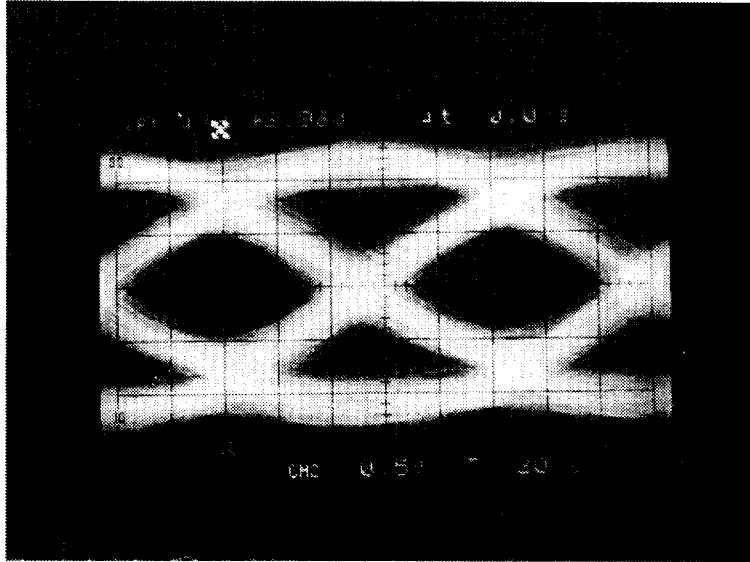


그림 7. 지상국에서 측정된 우리별 1호의 eye pattern.

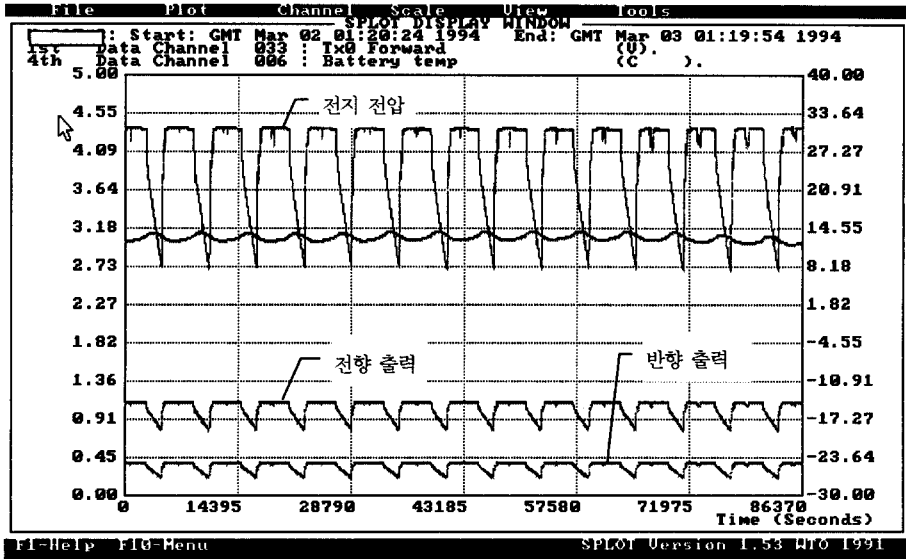


그림 8. 우리별 2호 송신기의 원격검침 정보.

4. 결 론

제작된 통신시스템은 요구규격을 만족하였고, 위성에 탑재되어 정상적으로 운용되고 있다. 우리별 1, 2호의 통신시스템은 한국과학기술원 지상국 외에도 전세계 아마추어 무선국에 다양한 위성 정보와 통신 서비스를 제공하고 있다. 우리별 1, 2호 통신시스템의 설계, 제작 및 운용 과정에서 얻어진 결과는 향후 소형 인공위성의 개발에 중요한 데이터가 될 것이다.

참 고 문 헌

SaTReC 1992, KITSAT-1 RF system Technical Report (SaTReC: Taejon)

SaTReC 1993, KITSAT-2 RF system Technical Report (SaTReC: Taejon)