技術論文

과학기술위성 3호 S-대역 송신기 인증모델 설계 및 제작

오승한*, 서규재*, 오대수*, 이정수*, 오치욱*

Design and Implementation of Engineering Qualification Model of S-Band Transmitter for STSAT-3

Seung-Han Oh*, Gyu-jae Seo*, Dae-Soo Oh*, Jung-Soo Lee* and Chi-Wook Oh*

ABSTRACT

This paper describes the development result of S-band Transmitter of STSAT-3 by satellite research center(SaTReC), KAIST. STSAT-3 has two kinds of communication channels, S- band for Telemetry & Command and X-band for mission payload. S-band Transmitter(STX) consist of modulator, frequency synthesizer, power amp and DC/DC converter. The modulation scheme of STX is FSK(Frequency Shift Keying). The interface between spacecraft OBC and STX is RS-422. The STX is based on modular design. The RF output power of STX is 1.5W(31.7dBm) and BER of STX is under 1E-5. The Test of STX is completed successfully such as functional Test and environmental(vibration, thermal vacuum) Test.

초 록

본 논문은 현재 KAIST 인공위성연구센터(SaTReC)에서 개발하고 있는 과학기술위성3호(STSAT-3) 위성본체의 S대역 통신채널 중 송신기 개발에 관하여 서술하고 있다. STSAT-3의 통신시스템은 위성제어 및 상태정보 전송을 위하여 S대역을 사용하며 임무수행용 통신채널로는 X대역을 사용하고 있다. S대역 송신기(S band Transmitter, STX)는 변조기, 주파수 합성기, 파워 앰프, 전력공급기 로 구성되어 있다. 변조 방법으로는 주파수 천이방식(Frequency Shift Keying, FSK)을 사용 하며 위성체와는 RS-422통신 방식을 이용한다. STSAT-3의 STX는 모듈화에 근거하여 설계 및 제작 되었으며 1.5W(31.7dBm) 송신 출력에 1E-5 비트오율(BER) 성능을 만족한다. 현재 성능시험, 환경시험(진동시험, 열진공시험)을 성공적으로 마쳤다.

Key Words : S-Band, FSK, Transmitter

1. 서 론

KAIST(한국과학기술원) 인공위성 연구센터(SaTReC)에서는 STSAT-3(과학기술위성 3호)의

위성본체를 개발하고 있다. STSAT-3의 통신 시스템은 관제용 채널과 임무용 채널로 이루어져 있다. 관제용 채널은 S대역을 사용하며 임무용 채널은 X대역을 사용하고 있다. 관제용 채널은 다시 송신기(S Band Transmitter, STX)와 수신기(S Band Receiver, SRX)가 구분되어 제작되고 있다. 그 이유는 STX, SRX를 각기 다른 위성 시스템에서도 사용할 수 있도록 하기 위해서이다. STX는 내부가 변조기(Modulator), 주파수 합성기

† 2009년 10월 21일 접수 ~ 2009년 12월 29일 심사완료

* 정회원, KAIST 인공위성연구센터
교신저자, E-mail : ohsh@kaist.ac.kr
대전광역시 유성구 구성동 373-1

(Frequency Synthesizer), 파워 앰프(Power Amplification) 그리고 전원부(DC/DC converter, EMI Filter)로 모듈화 되어 구성되어 있다. 즉 STX는 유닛의 모듈화에 중점을 두어 설계되었으며 STX 각 부분은 독립적으로 다른 서브시스템에서 사용할 수 있도록 설계 제작되었다. 제작된 STX는 동일한 형태로 Primary, Redundancy로 총 2개가 제작 되었으며 각각 기능시험, 환경시험(진동시험, 열진공시험), 성능시험을 성공적으로 마쳤다. 본 논문에서는 현재 개발 완료 된 STX의 인증모델(Engineering Qualification Model, EQM)에 관하여 서술하고 있다.

II. STX의 구성 및 설계

2.1 STX의 전체 구성

STX는 위성체로부터 디지털 데이터를 수신하여 변조 한 뒤 반송파에 실어서 안테나를 통하여 신호를 송신한다. 전원은 직류(DC) +28V 단일 전압을 위성체로부터 공급 받고 내부에서 변환하여 사용하고 있다. 그림 1은 STX의 신호 흐름을 보여준다.

EQM으로 설계된 STX는 인터페이스 환경만 맞으면 다른 시스템에서도 사용될 수 있게 구성되었다. 위성체와 연결은 전원 및 데이터 통신 채널로써 외부 연결 커넥터로 체결할 수 있다. STX는 크게 변조기, 주파수 합성기, 파워앰프, 그리고 전원부로 구성 되어 있다. STX 내부에서 각각의 연결은 내부 하네스로 한다.

그림 1. STX의 신호 흐름

2.2 변조기

변조기(Modulator)는 위성체의 탑재 컴퓨터(On Board Computer, OBC)와 원격 명령 및 검침장치(Tele-Command TeleMetry, TCTM)로부터 디지털 데이터(TTL 신호)를 수신하여 변조하고 변조된 아날로그 신호를 RF단으로 보내는 역할을 한다. STX는 위성체와 총 8개의 통신 라인이 연결되는데 TCTM의 명령에 의하여 이 중

그림 2. 변조기의 구성

한 개의 통신라인이 디지털 다중화기(Digital Multiplexer, DMUX)를 통하여 선택된다. 선택된 채널을 통하여 전달되는 디지털 신호는 변조기의 범용 비동기 송수신기(Universal Asynchronous Receiver Transmitter, UART)에 의해 신호 동기 및 전송속도가 정해 져서 변조단으로 넘어간다. 이때 위성체와 STX 변조기와의 신호 인터페이스는 RS-422방식을 이용한다. 동기가 맞춰진 신호는 변조를 하는데 변조기법은 주파수 천이방식(Frequency Shift Keying, FSK)을 사용한다. 수신 채널의 선택(DMUX), 수신 데이터의 가공, 동기화(UART) 및 변조(FSK)는 VHDL 코드를 사용하여 구현 하였다. 그림 2는 변조기의 구성을 보여준다.

2.3 주파수 합성기

주파수 합성기는 2GHz대의 반송파를 생성하는 역할을 한다. 주파수 합성기는 전압제어발진기(Voltage Controlled Oscillator, VCO), 위상 고정 루프(Phase Locked Loop, PLL)로 구성되며 VCO는 기준 주파수로 온도 보상형 발진기(Temperature Compensated crystal Oscillator, TCXO)를 사용한다. 주파수 합성기의 독립적인 동작과 반송주파수를 고정하기 위하여 외부에서 받는 명령어는 일체 없으며 주파수 합성기에 전원이 공급되는 즉시 주파수가 고정되도록 하는 설계방식을 택하였다. 주 전원으로 DC +5V를 사용한다.

그림 3은 주파수 합성기의 구성도 이다.

그림 3. 주파수 합성기의 구성

2.4 파워 앰프

파워 앰프는 데이터를 실은 반송파를 원하는 출력으로 송신하는 STX의 최종 단계이다. RF 송신 출력은 1.5[W]로 고정되며 STX에서 소모되는 전력의 대부분을 소모하는 부분이다. 파워 앰프단은 구동 증폭기, 파워 증폭기로 구성되며 파워앰프단의 구성을 그림 4에 나타내었다.

그림 4. 파워 앰프 단의 구성

2.5 전원 단

STX 전원 단은 EMI필터, 직류 변환기(DC/DC Converter) 그리고 전압 정류기(voltage regulator)로 구성된다. STX는 위성체로부터 DC+28V를 주 전원으로 공급받는다. 공급받은 주 전원에서부터 STX의 전원 단은 DC/DC 컨버터를 거쳐 실제 사용하게 되는 전원을 재공급 하는데 여기에는 한 개의 EMI 필터와 두 개의 DC/DC 컨버터(DC+12V, DC±5V)가 사용 된다. STX의 변조단에 사용되는 FPGA 및 버퍼는 +3.3V 및 +1.5V를 사용하는 관계로 DC+5V를 만들어내는 DC/DC컨버터에서 나오는 +5V출력은 다시 레귤레이터를 거쳐서 +3.3V와 +1.5V로 변환 된다.

그림 5는 전원단의 구성을 보여준다.

그림 5. 전원부 구성도

III. 제작 및 시험 결과

3.1 STX EQM의 제작

그림 6은 제작이 완료된 STX의 EQM 사진이다. STX EQM은 동일한 모델이 두 개 제작되는

그림 6. STX EQM

그림 7. 완전 조립 된 S 대역 트랜시버 EQM

데 각각 Primary, Redundancy란 이름으로 하나의 박스 형태로 조립이 된다. 또한 여기에 SRX 모듈이 조립되어 하나의 S대역 트랜시버를 구성하게 된다.

그림 6의 좌측 하단을 보면 우선 STX 박스외 관에 붙어있는 25핀 커넥터가 위성체와 신호를 연결하며 STX의 RF 출력은 그림 6 우측 가운데에 보이는 SMA를 통하여 위성체의 RF Assembly, S대역 안테나와 연결된다.

3.2 전원 단 시험 결과

전원 단은 DC/DC 컨버터를 통한 직류전압 변환 외에도 RF 파워앰프의 전원 공급 시퀀스도 기능에 포함된다. RF 파워앰프는 MOSFET 소자로써 전원인가 시 소자보호를 위하여 시퀀스가 필요하다.

전원이 인가 될 때는 -5V 전압이 먼저 걸린 후에 +12V 전압이 걸려야 하며 전원을 끌 때에는 반대로 +12V 전압이 제거된 후에 -5V 전압이 제거되는 순서여야 한다.

그림 8. DC/DC "On" sequency 출력 측정

그림 9. DC/DC "Off" sequency 출력 측정

3.3 변조기 시험 결과

변조기는 위성체로부터 받은 디지털 신호를 아날로그 변조 하여 주파수 합성기로 신호를 보내는 역할을 한다. 변조 방식은 FSK방식을 사용한다. 변조기의 거의 모든 기능(DMUX, UART, FSK)은 VHDL 코드를 사용하여 구현하였으며 하나의 FPGA칩에 이식하였다. 변조기에 사용된 FPGA칩은 Actel사의 Anti-fuse타입 FPGA이다.

그림 10은 변조기의 출력 아날로그 파형을 나타낸 것이다.

그림 11은 변조기를 이용한 루프 백 시험 결과이다. 디지털 신호를 변조기에 연결한 후 출력

그림 10. 변조기 FSK 출력 파형

아날로그 파형을 복조기를 거쳐 디지털 신호가 제대로 복원 되는 지를 확인 한 시험이다.

3.4 주파수합성기 시험 결과

주파수 합성기는 반송파를 만들어 내는 역할을 한다. STSAT-3의 관제용 주파수는 S 대역 (2GHz)을 사용하므로 주파수 합성기가 만들어내는 반송파 역시 2GHz대 주파수 이다.

그림 12는 주파수 합성기의 출력을 스펙트럼 분석기로 확인한 결과 이다. 정확히 반송파가 출력되는 것을 확인 할 수 있었다. 주파수 합성기의 출력 전력은 다음 단 전력 증폭기(파워 앰프)의 상황에 따라 쉽게 조절 할 수 있다.

그림 13은 주파수 합성기의 위상잡음(phase noise)을 측정한 결과 이다. STX의 위상잡음 요구 사항은 '-90dBc at 10kHz'이상으로 하고 있는

그림 11. 변조기 루프 백 시험 결과

그림 12. 주파수 합성기 출력

그림 13. 주파수 합성기 위상 잡음 측정

그림 17. 챔버 열 진공 주기 프로파일

그림 18. TVT 성능 시험 환경

4.3 진동 시험

발사체의 발사과정에서 생길 수 있는 진동 환경에 견딜 수 있는지를 판단할 수 있는 환경시험의 일종인 진동시험을 인공위성센터 진동실험실

그림 19. 진동 시험 환경 및 진동 프로파일

에서 시행하였다. 진동시험 전에 STX EQM은 STX 구조물에 정확한 토크로 체결되고 경화제 (Conformal coating)를 PCB에 발라서 부품들이 진동시 PCB나 구조물에서 떨어져 나가는 것을 방지하는 작업을 하였다. 그림 19의 위쪽사진은 모든 준비 작업을 마치고 진동대에 STX EQM을 장착한 모습이다. 진동시험은 X, Y, Z축 등 총 세 축에 대해서 위성체 요구조건인 14.1G에 대하여 시행되었다. 각 축마다 진동을 시행한 후 진동대에서 모듈을 분리하여 그림 15와 같은 환경에서 기능시험을 각각 시행하였다. 모든 축에 대하여 진동 후 기능 시험 결과는 동일하였다. 또한 진동시험 완료 후 모듈을 자세히 검사한 결과 아무런 이상도 발생 하지 않았다.

4.4 위성체 종합 시험 납품

모든 환경시험을 마치고 위성체 종합시험 팀에 STX EQM 모듈을 납품 완료하였다. 모든 위성체에 들어가는 모듈을 전부 연결하여 종합시험을 시행 하였다(Engineering Test Bed Test, ETBT). 그림 20은 ETBT 시험 환경 사진이다. 표 1에 ETB 이후 최종 시험 결과를 정리하였다.

표 1. STX 최종 납품 후 시험결과

	요구 사항	시험 결과
STX	RF output Power : 1.5 W	RF output Power : 1.5 W
	Modulation : FSK	Modulation : FSK
	Data Rate : 38.4 Kbps	Data Rate : 38.4 Kbps

그림 20. ETB 시험 환경

V. 결 론

본 논문에서는 STSAT-3에 장착되는 STX EQM의 개발 및 시험 결과에 대하여 정리하였다. 기능 및 환경시험 결과 표 1과 같이 요구 조건을 만족 하였으며 위성체 ETB시험에서도 동일

한 결과를 얻었다. 현재 STX는 EQM 납품을 마치고 비행모델(Flight Model, FM)개발이 진행 중이다.

후 기

본 연구논문은 교육과학기술부 과학기술위성3호 개발사업의 예산지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

- 1) 오승한, 이정수, 서규재, 오치욱, 강경인, 임종태, “과학기술위성3호 S 대역 송신기 개념설계”, 한국항공우주학회 2008 춘계 학술발표회 논문집, pp. 992 ~ 995, Apr. 2008.