

技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2011.39.6.553

과학기술위성 3호 S-대역 송신기 비행모델 설계, 제작 및 시험

오승한*, 서규재*, 이정수*, 오치욱*, 박홍영*

Design, Implementation and Test of Flight Model of
S-Band Transmitter for STSAT-3

Seung-Han Oh*, Gyu-Jae Seo*, Jung-Soo Lee*, Chi-Wook Oh* and Hong-Young Park*

ABSTRACT

This paper describes the development and test result of S-band Transmitter flight model(FM) of STSAT-3 by satellite research center(SaTReC), KAIST. The communication sub-system of STSAT-3 is consist of two different frequency band channels, S-band for Telemetry & Command and X-band for mission data. S-band Transmitter(STX) functionally made of modulator, frequency synthesizer, power amp and DC/DC converter. The transmission data is modulated by FSK(Frequency Shift Keying) and the interface between spacecraft sub-module and STX is RS-422 standard method. The FM STX is based on modular design. The RF output power of STX is 1.5W(31.7dBm) and BER of STX is under 1×10^{-5} which meets the specification respectively. The FM STX is delivered Spacecraft Assembly, Integration and Test(AIT) level through the completion of functional Test and environmental(vibration, thermal vacuum) Test successfully.

초 록

본 논문에서는 현재 KAIST 인공위성연구센터(SaTReC)에서 개발 진행 중인 과학기술위성3호(STSAT-3) 위성체의 위성 상태정보 전송을 위한 S-대역 송신기 비행모델 개발 및 시험에 관하여 서술하고 있다. STSAT-3의 통신시스템은 크게 상태정보, 명령 송수신을 위한 통신채널과 임무데이터 전송을 위한 통신채널로 구성되며 상태 정보 및 명령 송수신을 위하여 S-대역을 사용하며 임무데이터 전송용으로 X-대역 주파수를 사용하고 있다. S-대역 송신기(S-band Transmitter, STX)는 기능적으로 변조기, 주파수 합성기, 파워 앰프 및 전력공급기로 구성되어 제작되었다. 전송데이터 변조 방법으로는 주파수 천이방식(Frequency Shift Keying, FSK)을 사용 하며 위성본체와의 데이터 통신은 표준방식인 RS-422통신 방식을 사용하였다. STSAT-3의 STX는 기능적 모듈화에 근거하여 설계 및 제작 되었으며 1.5W(31.7dBm) 송신 출력에 1×10^{-5} 비트오율(BER) 성능을 만족한다. STX 비행모델은 성능시험, 환경시험(진동시험, 열진공시험)을 성공적으로 마치고 위성체 조립단계에 납품되었다.

Key Words : S-Band Transmitter(S대역송신기), Telemetry(원격측정정보), FSK(주파수천이방식)

† 2011년 3월 17일 접수 ~ 2011년 5월 28일 심사완료

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

I. 서 론

우주환경에서의 과학기술검증을 위하여 발사되는 과학기술위성3호(STSAT-3)의 위성본체는

KAIST(한국과학기술원) 인공지능 연구센터(SaTReC)에서 개발을 하고 있다.

STSAT-3 위성체의 통신 시스템은 위성체 관제용 채널(Telemetry and Command, T&C)과 임무 데이터 전송용 채널(Instrument data Transmission)로 이루어져 있다. 위성의 상태정보(State of Health, SOH) 송신 및 지상에서의 명령수신(Tele-Command)에 사용되는 관제용 채널은 S-대역을 사용하고 있으며 위성의 탑재체(Instruments)에서 수집한 각종 데이터를 지상으로 보내는 임무용 통신채널은 X-대역을 사용하고 있다.

관제용 S대역 통신 채널은 SOH 송신용으로 S대역 송신기(S-Band Transmitter, STX)와 지상 원격 명령 수신용으로 S대역 수신기(S-Band Receiver, SRX)로 구성되어 있다. STX와 SRX는 물리적으로 분리하여 각각의 서브모듈로 개발, 제작하였는데 그 이유는 STX, SRX를 향후 다른 위성 시스템에서도 활용할 수 있는 기반을 마련하기 위해서이다.

STX 비행모델(Flight Model, FM)은 기능적으로 변조기(Modulator), 주파수 합성기(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 STX FM은 동일한 형태의 Primary, Redundancy 모듈이 각각의 구조물에 조립되어 제작 되었으며 각각 기능 시험, 성능시험, 환경시험(진동시험, 열진공시험), 을 성공적으로 마쳤다.

본 논문에서는 STX FM의 설계, 제작 및 시험 결과에 대하여 서술하고 있다.

II. STX 비행모델 설계 및 제작

2.1 STX 비행 모델의 구성

위성체의 상태정보를 지상국으로 전송하는 STX는 위성체 탑재 컴퓨터(On Board Computer, OBC)나 원격 명령, 텔레메트리 처리 유닛(Telemetry, TeleCommand Unit, TCU)으로 부터 디지털 데이터를 넘겨받는다. 넘겨받은 디지털 데이터는 STX의 변조기(Modulator)에서 주파수 천이 방식(Frequency Shift Keying, FSK)을 이용하여 변조 한다. 변조된 아날로그 신호는 STX 주파수 합성기에서 생성된 반송파에 실린 뒤 STX의 RF 파워 앰프를 통해 위성체의 안테나로 유도되어 지상국으로 RF 신호를 송신한다. STX는 위성체의 전력 공급 시스템으로부터 +28V 직류 전원(DC)을 공급 받아 내부 전력 모듈에서 필요한 전압으로 변환 한 뒤 STX의 각 모듈에 공급한다. 그림 1은 STX 비행 모듈의 기능 구성도이다.

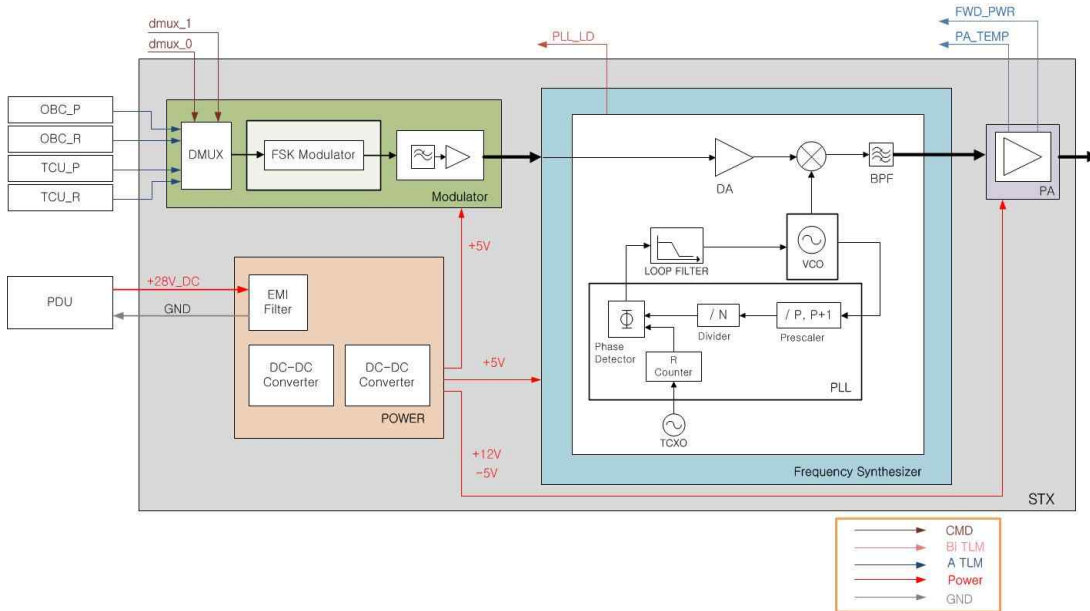


그림 1. STX FM의 기능 구성도

2.2 비행 모델의 요구사항

STX 비행 모델은 주어진 전기적 요구사항에 맞게 설계 되었다. 전송 주파수는 KAIST 인공위성센터에서 국제전기통신연합(ITU)에 등록된 주파수인 2GHz 대의 S-대역을 사용 하였고 RF 전송 전력은 STSAT-3가 임무를 수행할 지구저궤도 기준으로 링크 버짓을 계산하여 산출된 1.5[W]로 설계되었다. 변조 방식은 대역폭이 늘어나는 단점은 있으나 저속에서 안정적이고 비교적 쉽게 데이터를 변조할 수 있는 방식인 주파수천이(FSK) 방식을 사용하였으며 비트오율(Bit Error Rate, BER)은 $\leq 1 \times 10^{-5}$ 을 만족하게 설계 하였다.

STX의 구조물은 로켓 발사 환경에서의 진동과 지구 저궤도 환경에서의 극심한 온도차이 등을 고려하여 이러한 가혹한 환경 조건을 견딜 수 있게 환경적 요구 사항도 만족하도록 설계하였다. STX의 구조물은 S-대역 수신기(S-band Receiver, SRX)와 결합하여 하나의 STRU(STX and SRX Unit)를 구성하는데 그 무게와 크기는 환경적 요구사항을 만족하는 범위에서 최대한 줄여 설계 하였다. 표 1에 STX 비행 모델의 전기적, 환경적 그리고 기계적 요구사항을 정리하였다.

표 1. STX 비행 모델의 요구사항

STX FM 전기적 요구 사항	
전송 주파수	2XXX [MHz]
RF 파워	1.5 [W]
비트 오율(BER)	$\leq 1 \times 10^{-5}$
데이터 전송 속도	38400 [bps]
변조 방식	FSK
전력 소모	30 [W]
STX FM 환경적 요구 사항	
동작 온도	-10 [°C] ~ +30 [°C]
진동	10 [grms]
내방사성	10 [krad]
STX FM 기계적 요구 사항	
크기	$\leq 270 \times 170 \times 160$ [mm]
무게	≤ 4.3 [kg]

2.3 STX 비행 모델의 제작

STX 비행 모델은 전원부, 변조부, 주파수 합성부, RF 파워 앰프부로 구성되며 아래 그림 2와 같다. 그림 2를 보면 STX 비행 모델의 각 구성(전원부, 변조부, 주파수 합성부, RF 파워 앰프부)이 PCB 단위로 명확하게 구분되는데 이는 각 구성품을 개별적으로 사용 가능하도록 모듈화 설계에 기반을 두고 제작하였기 때문이다. 이렇게

제작한 이유는 S대역 송신기의 경우 과학기술검증용이나 아마추어 위성의 T&C용으로 많이 사용하는데 대부분의 송신기가 RF 출력은 비슷하고 (PFD 제한 때문) 사용 주파수만 S대역에서 조금 다른 경우가 많다. 따라서 각 구성을 모듈화 해서 제작해 두면 주파수 변경이 생기더라도 주파수 합성기의 생성 주파수만 쉽게 바꿔서 사용할 수 있으며 또한 변조기가 FPGA기반으로 제작되었기 때문에 변조 방식 변경 및 추가기능 첨가도 가능하다. 그리고 송신기 제작 기간을 단축할 수 있는 큰 장점도 가진다.

그림 2의 왼쪽 부분이 STX에 전원을 공급하는 전원부 이고 상단에 FPGA소자가 있는 부분이 데이터 변조를 하는 변조부이다. 하단 가운데 박스로 되어있는 부분은 STX의 전송 주파수를 만들어 내는 주파수 합성기 부분이며 하단 우측은 RF 파워 앰프 부분이다.

그림 3은 STX, SRX 그리고 RF Assembly가 완전 조립된 STRU 비행 납품 모델이다. RF Assembly는 안테나와 STX 그리고 SRX 사이에서 RF 신호를 이어주는 역할을 한다.

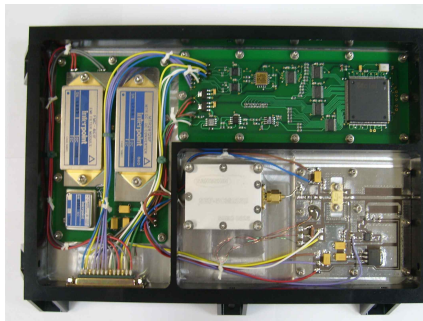


그림 2. 제작 완료된 STX 비행 모델



그림 3. 제작 완료된 STRU 비행 모델

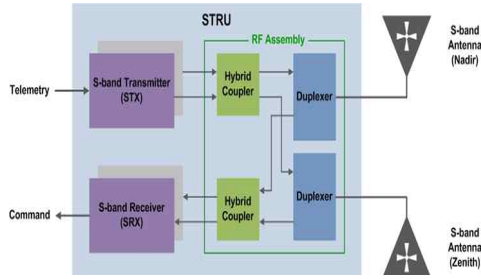


그림 4. S-대역 통신채널의 신호 경로

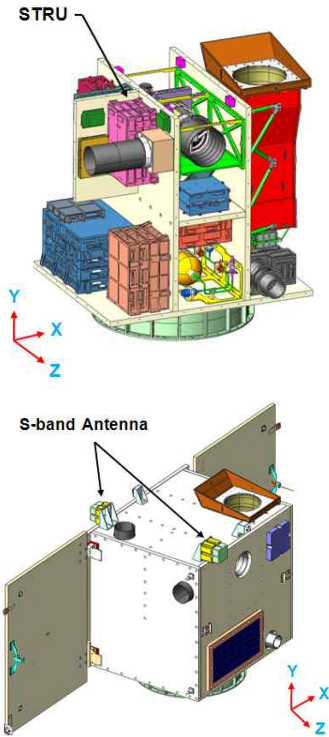


그림 5. STSAT-3 비행모델의 STRU, S-대역 안테나의 위치

그림 4는 STX를 포함하는 S대역 통신 경로를 나타낸다.

그림 5는 STRU 비행 모델이 STSAT-3 위성 본체에 장착되는 위치와 S-대역 안테나가 장착되는 위치를 보여준다.

III. 성능 시험 및 환경 시험

3.1 STX 비행 모델의 성능 시험

STX 비행 모델은 서론에서도 기술하였듯이 각 모듈의 재 활용성을 염두에 두고 설계 및 제

작을 하였다. 전원모듈, 변조 모듈, 주파수 합성 모듈 그리고 RF 파워 앰프 모듈은 각기 제작되어 자체 기능 시험을 거친 후 STX 구조물에 조립되어 성능 시험을 하였다.

그림 6은 STX 비행 모델의 성능시험 구성을 보여준다.

위성체의 OBC와 TCU를 대체하기 위하여 노트북 컴퓨터를 사용하여 디지털 데이터를 생성 및 수신하게 하였고, BER 성능 시험도 할 수 있게 구성하였다. OBC, TCU와 STX는 RS-422 통신 방식을 사용하므로 노트북과 STX의 데이터 통신을 위해 RS232 to RS422 통신을 가능하게 하는 간이 보드를 제작하여 사용하였다. OBC, TCU 그리고 STX는 각각 이중화되어 제작되었으므로 STX 변조기에는 채널선택기(Multiplexer, MUX)가 있어서 통신채널을 선택할 수 있다. 통신채널 선택 명령은 TCU로부터 받게 된다. 이 역할은 또 다른 노트북과 데이터 획득 (Data Acquisition, DAQ)장비를 활용하여 구성하였다.

STX에서 송출된 RF 전송 신호는 RF 케이블을 통하여 RF 신호 감쇄기(Attenuator)를 거쳐서 RF 수신기로 연결된다. RF 수신기에서 수신된 RF 신호는 SaTReC에서 제작한 지상 기저대역 변복조 장치(Ground Baseband Controller, GBC)로 연결된다. GBC는 디지털데이터를 변복조하여 컴퓨터와 RF 장비사이에서 데이터를 이어주는 역할을 한다. GBC에서 복조된 디지털데이터는 원 디지털 신호 발생장치인 노트북으로 수신 데이터를 전송한다. 노트북에서는 송수신 디지털 데이터를 비교하여 STX의 성능을 확인 할 수 있다.

그림 6의 시험환경에서 STX 비행 모델의 BER 시험을 수행 하였는데 시험 방법은 OBC-TCTM 매니저에서 백 만개 혹은 그 이상의 비트 데이터 또는 패킷 데이터를 랜덤하게 생성하여 STX 변조기로 보낸다. STX 변조기는 디지털 신호를 아날로그 변조된 신호로 변환하여 주파수 합성기로 신호를 보낸다. 전송주파수에 실린 신호는 STX 파워 앰프를 거친 출력된다. 수신된 RF 신호는 RF 수신기에서 아날로그 신호를 추출하여 GBC로 보내는데 GBC를 통해서 최종 디지털 신호가 복원된다. 복원된 데이터는 OBC-TCTM 매니저로 보내져서 원 송신 데이터와 비교하여 정오 여부를 판단 한다.

BER 시험 결과 백만 비트 송신 후 오류 없이 백만 비트 수신을 확인 하였다.

STX의 성능확인을 위하여 스펙트럼 분석기를 사용하여 RF 송신 신호와 주파수를 확인하는데 이때 스펙트럼분석기에는 S대역 안테나를 연결하여 무선으로 신호를 측정하게 된다. 정밀 분석이

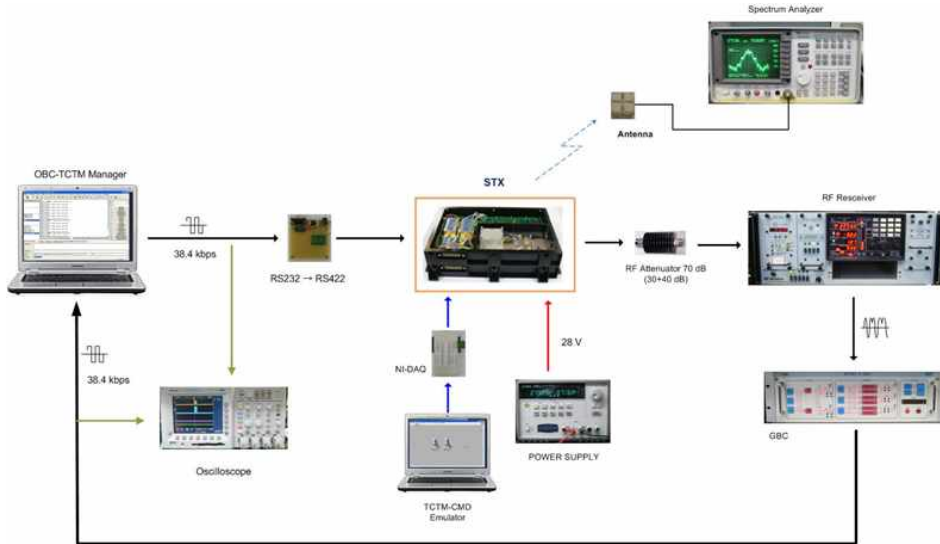


그림 6. STX 비행모델 성능 시험 환경

필요한 경우 RF 케이블을 직접 STX에 연결하여 확인 할 수 있다. 노트북 혹은 GBC에 오실로스코프를 연결하여 송수신 디지털데이터의 상태를 비교 분석 하였다.

위성체에서 공급되는 전원을 대체하기 위하여 상용 전원공급장치(Power Supply)를 사용하였다.

3.2 STX 비행 모델의 열 진공 및 진동 시험

STX 비행 모델의 열진공시험(Thermal Vacuum Test, TVT)은 그림 7과 같은 주기로 이루어 졌다. 총 2.5회의 주기로 열진공시험이 실시되었으며 각 주기 예정된 구간마다 기능시험을 수행 하였다.

STX 비행모델의 TVT 환경 조건은 챔버 진공도는 1×10^{-5} Torr 이고 챔버 온도 최저 최고 범위는 $-10^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ 이다. TVT 조건을 표 2에 정리 하였다.

그림 8은 STX FM의 진동시험 사진이다. 제작된 STX FM을 표 3과 같은 조건 및 순서로 진동시험을 수행하였다. 각 축에 대한 진동시험이 끝난 후 STX의 기능 점검 시험을 각각 실시 하였다.

표 2. STX FM TVT 조건

비행 모델 열 진공 시험 조건		
온도	최고	+30°C
	최저	-10°C
시험 주기	2.5	
온도 변화율	0.5 °C/min	
압력	1×10^{-5} Torr	
Dwell 시간	초기, 마지막	6시간
	대기	1시간

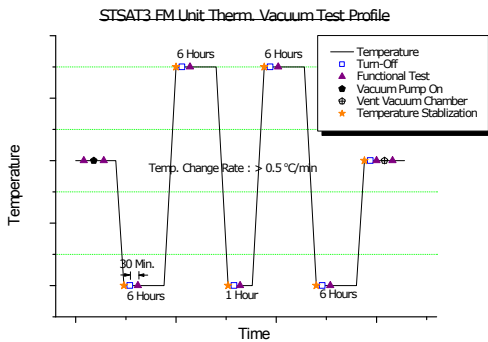


그림 7. STX FM TVT Profile

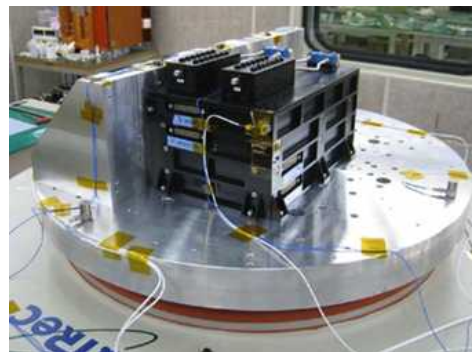


그림 8. STX FM 진동 시험

표 3. STX FM 진동시험 순서 및 조건

축(Axis) 시험 순서		X → Y → Z	
각 축별 시험조건 및 순서			
1	진동 장치 셋업		
2	Inspection		
3	pre-test	low level random test	2.0[grms]
4	STX Functional test and Inspection		
5	Main random test		10[grms]
6	STX Functional test and Inspection		
7	post-test	low level random test	2.0[grms]
8	STX Functional test and Inspection		

3.3 STX 비행 모델 시험 결과 정리

STX 비행모델은 자체 성능 및 환경 시험을 유닛 요구사항에 맞게 마치고 위성체 조립 및 시험(Assembly, Integration and Test, AIT)에 납품되어 위성체 연동 시험을 마쳤다. 시험 결과를 표 4에 정리 하였다.

표 4에서 알 수 있듯이 STX 비행모델은 요구사항을 만족하여 설계 제작 되었고 성능시험 및 환경시험을 모두 성공적으로 완료하였다.

표 4. STX FM 성능 및 환경 시험 결과

	시험항목	요구 사항	만족여부	
			STX_P	STX_R
성 능 시 험	전력소모	≤ 30W	만족	만족
	주파수	2.XXX GHz	만족	만족
	RF 파워	31.7 dBm (1.5W)	만족	만족
	데이터 전송속도	38400 bps	만족	만족
	데이터 인터페이스	RS-422	만족	만족
	통신채널	OBCp,r / TCUp,r	만족	만족
	BER	≤ 1X10 ⁻⁵	만족	만족
	TLM 체크	PLL, PWR, TEMP	만족	만족
환 경 시 험	TVT	-10℃to30℃@1X10 ⁻⁵ T.	만족	만족
	진동	10 grms	만족	만족
A I T	DC check	Power check	만족	만족
	TLM 체크	PLL, PWR, TEMP	만족	만족
	통신채널	38.4Kbps@OBC,TCU	만족	만족

IV. 결 론

우주로 발사될 위성체 최종 조립되는 STX 비행모델의 설계, 성능시험, 환경시험, 그리고 시험 결과에 대하여 기술 하였다.

STX 비행모델은 설계 초기부터 기능별로 모듈화 하여 설계가 진행 되었고 인증모델(Qualification Model, QM)에서 각 기능별 모듈에 대한 성능 검증과 전체 STX 성능에 대한 검증을 마쳤다면 비행모델에서는 검증된 성능을 그대로 재현하여 설계 및 제작 하였다.

STX 비행모델은 자체 성능 시험과 환경시험을 성공적으로 마치고 AIT에 납품되었다. AIT에서 위성체의 다른 서브시스템과 같이 조립되어 기능 점검 및 통신 시험을 마쳤다. 또한 STSAT-3 지상국과의 접속시험도 마쳤다.

후 기

본 논문은 교육과학기술부 과학기술위성3호 개발사업의 예산지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

1) Seung-Han. Oh, Jung-Soo. Lee, Gyu-jae. Seo, Chi-Wook. Oh, Kyung-In.Kang, Jong-Tae.Lim, "A Preliminary Design of S-Band Transmitter for STSAT-3", Proceedings of the 2008 KSAS Spring Conference, pp. 992 ~ 995, Apr. 2008.

2) Seung-Han. Oh, Gyu-jae. Seo, Jung-Soo. Lee, Chi-Wook. Oh, "Design and Implementation of Engineering Qualification Model of S-Band Transmitter for STSAT-3", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Vol. 38 No. 1, pp. 80 ~ 86, January. 2010.

3) KARI, SaTReC, KASI, KNU, KAIST, CNU, WooSuk University "STSAT-3 Critical Design Review", DOC. #:ST3-DO-200-005, pp. 15-2 ~ 15-73, 2009.9.

4) Standards Approval Board(STAB) for Space Data Communications, The Inspector General, ESA"Space data Communications", ESA RD-04-105, pp. 9 ~ 40, March. 1991.