

## 우주 탐사를 위한 디지털 트랜스폰더 기술

원영진\*, 이진호\*\*, 김진희\*\*\*, 이상률\*\*\*\*

### Digital Transponder Technology for the Exploration of Space

Young-Jin Won\*, Jin-Ho Lee\*\*, Jin-Hee Kim\*\*\*, Sang-Ryool Lee\*\*\*\*

#### Abstract

Transponder is the significant equipment for the telemetry and telecommand operation between the ground station and the satellite. Recently, various transponder technology like Compact Standard Transponder(CST), Small User Transponder(SUT) for data relay satellite, Dual Mode TT&C Transponder(DMT) for large user, and Deep Space Transponder(DST) for deep space mission have been developed according to the communication method and user requirements. Especially, the transponder based on the digital technology comes into the spotlight in the satellite communication field. This paper describes the various analog transponder technology and the state-of-art digital transponder technology grafted onto the existing analog transponder technology.

#### 초 록

트랜스폰더는 지상국과 위성 사이의 텔레메트리와 텔레커맨드 운영을 위한 주요한 장비이다. 최근 트랜스폰더는 통신 방식과 사용자의 요구 사항에 따라 단순 표준화된 트랜스폰더와 데이터 릴레이 위성을 위한 소규모 사용자 트랜스폰더, 대규모 사용자를 위한 이중 모드 트랜스폰더 및 심우주 미션을 위한 심우주 트랜스폰더 등의 다양한 트랜스폰더가 개발되어 왔다. 특히 디지털 기술을 근간으로 하는 디지털 트랜스폰더 기술이 위성 통신 분야에서 주목 받고 있다. 본 논문은 다양한 트랜스폰더 기술과 기존의 아날로그 트랜스폰더 기술에 접목된 최신 기술인 디지털 트랜스폰더에 대하여 기술하였다.

키워드 : 원격 측정 명령(Telemetry, Tracking and Command), 아날로그 트랜스폰더(Analog Transponder), 디지털 트랜스폰더(Digital Transponder)

#### 1. 서 론

원격 측정 명령계(Telemetry, Tracking and Command System)에서 트랜스폰더는 위성의 중요한 부분을 차지하는 유닛이다. 1980년대 이후 개발되어 사용되어 왔던 보편적인 트랜스

접수일(2010년 1월 13일), 수정일(1차 : 2010년 4월 12일, 2차 : 2010년 6월 15일, 게재 확정일 : 2010년 10월 1일)

\* 다목적5호체계팀/yjwon@kari.re.kr    \*\* 다목적5호체계팀/ljh@kari.re.kr    \*\*\* 다목적5호체계팀/kimjh@kari.re.kr  
\*\*\*\* 위성연구본부/leesr@kari.re.kr

폰더는 현재 비용, 확장성 및 유연성, 전력 소모량, 무게 및 크기 등에서 개선을 위하여 새롭게 개발되고 있다. 현재 JAXA, NASA, ESA, Thales Alenia Space 등에서는 미래의 다양한 미션들의 요구 사항들을 만족하기 위한 표준 모델(Standard Model)을 개발하고 있다. 최근에 지구 관측 위성 분야와 심우주(deep space) 관측 분야에서 통신 방식이나 사용자의 사이즈에 따라서 다양한 트랜스폰더에 대한 개발이 진행되고 있으며 특히 지상과의 직접 통신을 위한 Compact Standard Transponder(CST), data relay satellite를 위한 Small User Transponder(SUT), large user를 위한 Dual Mode TT&C Transponder(DMT), deep space mission을 위한 Deep Space Transponder (DST)가 개발되고 있다. 특히 기존의 analog 개념의 transponder 기술에서 벗어난 digital 개념을 적용시킨 Digital Transponder(DT) 기술이 주목 받고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 기존에 사용되고 있는 보편적인 트랜스폰더 기술에 대하여 정리 및 기술하고 새롭게 주목 받고 있는 digital 트랜스폰더 기술 동향에 대하여 정리하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 트랜스폰더 개발 동향

1970년대까지 대부분의 위성에서 TT&C 통신은 VHF Link(130 MHz)를 통하여 수행되었다. 그러나 1980년대 초반 모든 유럽의 위성들이 S-Band(2 GHz 대역)를 TT&C 대역으로 사용하기 시작하였다. 또한 deep space 위성들은 높은 데이터 전송 속도로 데이터를 전송하기 위하여 X-Band(8 GHz 대역)를 TT&C 대역으로 사용하였다.

멀지 않은 미래에 위성의 개수 증가로 인하여 S-Band 대역을 사용하는 위성이 포화할 것으로 보이며 Near Earth mission의 데이터량 증가에 의해 지상국의 설비 투자에 의해 X-Band가 주된 TT&C 대역으로 사용될 것으로 보이며 또한 deep space 분야 역시 데이터량의 증가에 따라 X-Band를 기본으로 사용할 것으로 보이며 몇 개의

위성 program에서는 Ka-Band(30 GHz 대역)로 확장할 것을 고려하고 있다.

#### 2.1.1 트랜스폰더 타입

위성의 임무 타입에 따라 트랜스폰더 설계에 요구되는 제한 사항이나 요구 사항이 결정되는데 일반적으로 TT&C 트랜스폰더에 대하여 다음의 3가지 타입이 있다.

- Deep Earth

Deep space mission은 위성의 거리가 지구로부터 2 million kilometers 이상의 mission을 말하며 이러한 mission의 주요한 제한 사항은 먼 거리로 인한 수신 신호의 전력 레벨이 낮다는 것이다. 따라서 deep space mission용 트랜스폰더는 수 bps 정도의 아주 낮은 데이터 전송 속도를 사용하여 하며 또한 error detection과 correction을 위하여 다양한 코딩 기법이 사용된다.

- Near Earth

Near Earth mission의 경우 위성의 거리가 2 million kilometers 이내이며 달 탐사 위성을 포함한다. 일반적으로 절대 전력 레벨은 이러한 mission에는 문제가 되지 않는다. 그러나 위성이 원지점(apogee)에 있을 경우 낮은 전력 레벨을 수신하게 되며 근지점(perigee)에 있을 경우 높은 전력 레벨을 수신하게 되므로 수신기가 70 dB 정도의 dynamic range에 대처할 수 있어야 한다. 또한 위성이 근지점에 근접할 경우 Doppler effect(Doppler 주파수 편이)가 가장 크게 되는데 수신기가 이러한 Doppler 주파수 dynamics를 track할 수 있어야 하는 제한 사항을 가진다.

- Low Earth Orbit and Transmission via Data Relay Satellites

마지막 타입으로 지상국과 직접 TT&C 신호를 주고 받거나 Data Relay Satellite(DRS)를 통하여 TT&C 신호를 주고 받는 위성 타입이다. DRS를 사용하는 위성의 문제는 DRS와 저궤도 위성(Low Earth Orbit Satellite)과의 거리가 DRS와 Earth와의 거리와 비슷하므로 Data Relay Satellite가 Earth를

향하여 고출력의 전력을 방출할 경우 지상의 사용자들에게 interference를 야기할 수 있으므로 고출력의 전력을 방출할 수 없다는 것이다(이러한 전력 제한은 단위 면적당 Power Flux Density로써 ITU에서 규정하고 있다). 그러나 DRS를 이용하는 저궤도 위성에도 고 신뢰성의 TT&C 신호를 수신하기 위하여 출력 전력을 증가할 수 밖에 없다. 따라서 이를 해결하기 위한 해결책으로 Spread Spectrum 변조 방식을 사용하게 된다. 즉 DRS에서 방출되는 신호를 넓은 대역폭에 대하여 Spread Spectrum 변조 방식을 사용하여 송신하면 넓은 대역폭을 사용하여 전력을 분산시키게 되므로 단위 대역폭 당 방출 전력을 감소시키게 된다. 그리고 PN code 정보를 가지고 있지 않은 user에게는 의미 있는 신호가 아니라 noise로 보이게 되므로 효율성 측면에서도 개선된다. 따라서 DR S 위성은 Spread Spectrum Demodulator를 장착해야 신호를 제대로 분석할 수 있다. 따라서 이를 구현하기 위하여 트랜스폰더의 구조가 복잡해진다.

### 2.1.2 주파수 대역의 선정

원격 측정 명령(TT&C) 시스템의 주파수 대역 선정은 신호의 전파(propagation) 특성, data rate, 규정하는 요구 사항에 의하여 결정 된다.

현재 대부분의 TT&C 시스템은 지구의 대기 환경에서 가장 최소의 propagation loss(1 dB 이하)를 가지는 S-Band(2 GHz 대역)를 사용하며 data rate은 1 Mbps 이상이 가능하다. 따라서 정지 궤도 위성(Geostationary Orbit Satellite)을 포함하여 지구의 궤도를 도는 위성에서는 적합하다고 하겠다. Deep space mission의 경우 탑재체를 위하여 다른 주파수 대역을 사용하게 되는데 상업용 통신 위성의 경우 C-Band(6 GHz 대역)나 Ku-Band(14 GHz 대역)를 사용하게 된다.

### 2.1.3 트랜스폰더 기술의 진화

1980년대 유럽의 여러 위성들의 요구로 VHF Band(130 MHz) 대역에서 S-Band(2 GHz) 대역으로 주파수 대역이 옮겨졌으며 위상 변조(Phase Modulation) 방식이 주로 사용되어 수신 신호의 동기 변조(Coherent Modulation)가 가능해

졌다. 따라서 이러한 기술의 표준화로 인하여 deep space mission을 포함한 어떤 타입의 지구 궤도에도 적합한 Standard Transponder를 개발하게 되었으며 France의 Thomson-CSF(Alcatel Espace)나 Italy의 Selenia Spazio(Alenia Spazio)에서 1981-1982년에 트랜스폰더 비행 모델을 생산하기 시작하였다. 초창기 기술은 현재까지 표준으로 자리 잡고 있으며 기본적으로 아날로그 기술(Analog Technology)을 근간으로 하여 수많은 아날로그 부품으로 이루어지며 설계 변경이나 요구 사항 변경 시 많은 시간과 비용을 필요로 하게 된다.

### 2.1.4 기존의 S-Band 트랜스폰더

그림 1은 기존의 S-Band 트랜스폰더의 구조를 보여 준다. 원격 측정 명령계(TT&C)의 탑재 컴퓨터(On Board Computer)와 함께 주요한 기능을 수행하는 트랜스폰더는 다음과 같은 3가지 기능을 수행한다.

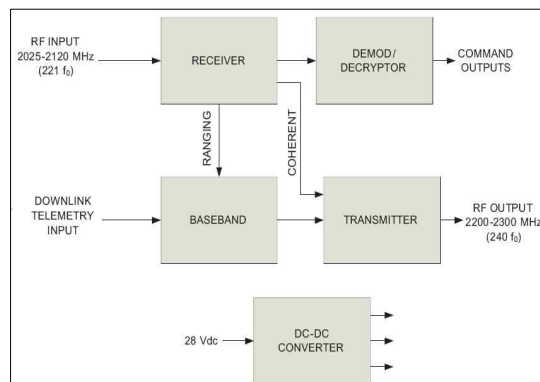


그림 1. S-Band Transponder Basic Configuration

- Telecommand Link(원격 명령 링크): 원격 명령 링크는 지상에서의 원격 명령을 upload하는 기능을 말한다.
- Telemetry Link(원격 텔레메트리 링크): 원격 텔레메트리 링크는 위성의 상태 데이터를 download하는 기능을 말한다.
- Tracking and Ranging(위치 추적 및 거리 측정):

트랜스폰더는 uplink를 통하여 상향 수신된 ranging 신호를 복조하여 downlink를 통하여 하향 송신하여 위성의 위치 추적 및 거리를 측정하는 기능을 말한다.

저궤도 위성의 경우 일반적인 S-Band communication system 구조를 가지는데 크게 상향 링크(Uplink)에서는 수신기와 복조기로 구성되며 하향 링크(Downlink)에서는 송신기와 변조기로 구성되며 잉여성(Redundancy)을 확보하기 위하여 2개를 장착하게 된다.

지상국에서 전송된 상향 텔레커맨드(Uplink Telecommand) 신호는 S-Band 안테나에 의해 수신되며 diplexer를 포함한 RF Assembly에 의해 filtering을 거친 다음 수신기로 입력된다. 텔레커맨드 신호의 carrier 신호는 2 GHz 대역이며 수 KHz의 subcarrier로 위상 변조(Phase Modulation)되며 텔레커맨드 데이터는 수 Kbps의 데이터 전송 속도로 BPSK(Binary Phase Shift Keying)로 변조되어 carrier에 실리게 된다. 이렇게 수신된 신호는 Demodulator로 복조되어 탑재 컴퓨터(On Board Computer)로 전달된다.

위성에서의 하향 텔레메트리(Downlink Telemetry) 신호는 위성에서 생성된 상태 정보를 변조기를 거친 다음 송신기로 전달되어 지상으로 내려 받게 된다. 송신기는 동기 모드(coherent mode) 및 비동기 모드(noncoherent mode)를 선택할 수 있으며 coherent mode 선택 시 240/221 비율의 coherent turnaround ratio에 의하여 uplink carrier 신호에 위상과 주파수가 동기화되어 downlink carrier를 생성하게 되며 여기에 데이터를 실어 하향 송신하게 된다. 또한 uplink 신호는 ranging 신호를 포함하고 있는데 receiver에서 복조되어 downlink carrier에 변조된 텔레메트리 신호와 함께 downlink를 통하여 back 송신하게 된다. 송신기는 변조된 downlink 신호를 증폭하며 RF Assembly를 거쳐 S-Band 안테나를 통하여 지상으로 전송한다.

## 2.2 디지털 트랜스폰더 개발

위성에 장착되는 다른 장비들과 마찬가지로 트랜스폰더도 역시 무게, 사이즈, 전력 소모, 비용

측면에서 감소에 대한 요구가 증가하고 있으며 이러한 요구 사항을 만족하기 위하여 현재 트랜스폰더는 오래된 아날로그 기술에서 디지털 기술로 점차 이동하고 있다. 이러한 기술 이동은 소형화(Miniaturization)를 위하여 회로 기술을 RF module 단을 MMIC화하고 Baseband module 단을 ASIC화하고 있으며 Demodulation, Modulation, Frequency generation function 등의 기능들을 디지털화(Digitalization)하고 있다. 이러한 기술에 의한 비용과 사이즈 감소, 디지털화에 따라서 성능에 대한 튜닝 요구 사항을 감소시켰으며 성능에 대한 반복성을 개선하였으며 유연성(Flexibility)을 증가시켰다.

### 2.2.1 Integrated S-Band Transponder

Alcatel Espace(Spain)에서는 지구 관측 분야의 저궤도 위성 분야에 사용되었으며 정지 궤도 위성 등에도 적용 가능한 새로운 개념의 new generation S-Band 트랜스폰더를 개발하였으며 Integrated S-Band Transponder(ISBT)로 명명하였다.

ISBT의 외관은 그림 2와 같으며 주요한 기능은 다음과 같다.



그림 2. Structural Model of ISBT

- Coherence to Standard: S-Band에 적용 가능한 대부분의 표준이 적용되었으며 spread spectrum

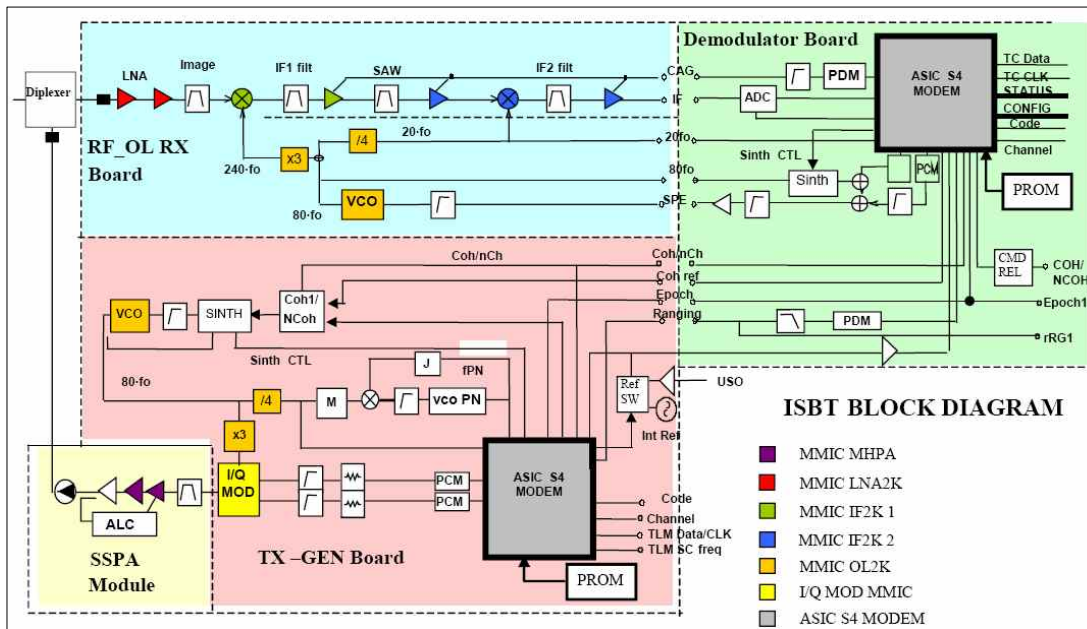


그림 3. Block Diagram of ISBT

mode를 위한 450-SNUG, ECSS-E-50-05, Ranging and Doppler Tracking을 위한 ECSS-E-50-02 등의 표준이 적용 및 고려되었다.

- **Flexibility:** ISBT는 가능한 modulation format, bit rates, ranging scheme 등에 유연성을 가지도록 설계되었으며 운영 요구 사항에 따라서 switching 기능을 제공하도록 설계되었다.
- **Adaptability:** ISBT는 다른 platform이나 mission에 따라서 쉽게 적용 가능하도록 설계되었으며 platform에 따라서 다른 전력 레벨, oscillator stability, interface compatibility의 option을 제공하도록 설계되었다.
- **Physical Characteristics:** ISBT는 무게와 부피에 있어서 감소를 시켰으며 송신기와 수신기를 stand alone module로 개별로 분리하여 TT&C 시스템에 flexibility를 제공하였다.
- **Design to Cost/ Design to Manufacturing:** ISBT는 제작과 튜닝에 있어서 간소화하여 개발에 소요되는 비용과 일정을 줄였으며 설계의 유연성은 하드웨어의 변경 없이 일반적인

DSP ASIC의 사용으로 가능하게 되었으며 ISBT 내부 부품들의 높은 수준의 표준화 (Standardization)를 통하여 비용 측면에서 감소를 가능하게 하였다.

ISBT의 block diagram은 그림 3과 같으며 요구되는 compactness와 flexibility를 가능하게 하기 위하여 digital part에서는 high density, low power의 ASIC 기술을 적용하였으며 RF part에서는 MMIC 기술과 analog ASIC 기술, advanced packaging 기술을 적용하였다.

ISBT의 주요한 parameter는 표 1과 같으며 ranging 방식의 경우 기존의 수신된 uplink ranging 신호를 주파수비에 따라 downlink carrier 주파수에 ranging 신호를 실어 보내는 Non-Regenerative Ranging(Turn around)방식과 deep space mission에 주로 사용되는 PN code를 사용하여 위성에서 ranging code를 복조하고 downlink에 ranging code를 재생성(Regenerative)하는 방식인 Regenerative Ranging 방식을 모두 지원한다.

표 1. ISBT Transponder Main Parameters

Mass	< 2.5 Kg (without Diplexer)
Size	190×100×163 mm <sup>3</sup>
Available Ranging Formats	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multi-tone (ESA and STDN)</li> <li>• ESA MPTS</li> <li>• Regenerative Ranging as per 450-SNUG</li> </ul>
Transponder Ratio in Coherent Mode	$F_{tx} = (240/221) F_{rx}$
Power Consumption	< 36 W

ISBT의 송신기와 수신기의 주요한 Parameter는 표 2와 표 3에 정리되어 있다.

표 2. ISBT Transmitter Main Parameters

RF Output Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Default &gt; 5W</li> <li>• 0.5 W (optional)</li> </ul>
Transmitter Frequency	2200 to 2290 MHz (Non-Coherent Mode)
Frequency Stability (Non-Coherent Mode)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Default ±20 ppm (XO)</li> <li>• ±3 ppm option (TCXO)</li> </ul>
Available TM Modulation Schemes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCM(NRZ)/PSK/PM (up to 60 Kbps)</li> <li>• PCM(SPL)/PM (up to 2 Mbps)</li> <li>• Suppressed carrier BPSK, (O)QPSK, GMSK</li> <li>• SQPN</li> </ul>
Multi-mode Capability	Any pair of available modes

송신기의 경우 PCM(NRZ)/PSK/PM, PCM(SPL)/PM 그리고 Suppressed carrier 방식으로 BPSK, (O)QPSK, GMSK, SQPN(Spread Spectrum)의 변조 방식을 지원하여 multi mode가 가능하며

data rate은 2 Mbps까지 지원한다.

수신기의 경우 PCM/BPSK, USQPN I-PN BPSK(Spread Spectrum) 등의 변조 방식을 지원하며 dual mode가 가능하며 data rate은 2 Mbps까지 지원한다.

표 3. ISBT Receiver Main Parameters

Input Frequency	2025 to 2120 MHz
Input Threshold Range	-128 to -50 dBm
Rest Frequency Stability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Default ±20 ppm (XO)</li> <li>• ±3 ppm option (TCXO)</li> </ul>
Sweep Rate	<32 KHz/s on ±150 KHz (Residual Carrier Mode)
Available TC Modulation Schemes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCM(NRZ)/PSK/PM (up to 4 Kbps)</li> <li>• PCM(SPL)/PM (from 8Kbps to 256 Kbps)</li> <li>• PCM, BPSK (from 2 Kbps to 2 Mbps-TBC)</li> <li>• USQPN I-PN BPSK (Spread Spectrum)</li> </ul>
Dual-mode Capability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NRZ/BPSK/PM</li> <li>• USQPN I-PN BPSK</li> <li>• NRZ/BPSK/PM</li> <li>• NRZ/SP-L/PM</li> <li>• USQPN I-PN BPSK</li> <li>• BPSK</li> </ul>

## 2.2.2 Deep Space Transponder

Alenia Spazio(Italy)에서는 ESA의 Deep Space Mission(Rosetta, Mars Express)을 위하여 digital architecture를 기반으로 한 새로운 Deep Space Transponder (DST)를 개발하였다. 또한 디지털 기술을 기반으로 하였으므로 deep space 분야 외에도 다른 다양한 분야에도 적용 가능하도록 설계하였다. Deep Space Transponder(DST)는 S-Band 와 X-Band를 사용하여 전통적인 트랜스폰더 기능인 uplink carrier tracking, command data

demodulation, ranging turn-around, downlink carrier generation and modulation 기능 외에도 디지털 기술을 적용하여 다음과 같은 특징을 가진다.

- 수신기의 입력 power에 따른 수신기 재배열성 (Reconfigurability)
- Narrow Loop Bandwidth의 쉬운 구현
- Data Rate의 설계 유연성(Flexibility)
- Interface Optimization
- On-Board Regenerative Ranging
- NCO(Numerically Controlled Oscillator)에 의한 frequency synthesis 용이성으로 인한 channel selection, data rate, modulation format, spectral shaping의 유연성(Flexibility)

그림 4는 Deep Space Transponder에 사용된 S-Band와 X-Band 트랜스폰더의 전체 block diagram을 보여 주며 그림 5는 실제 제작된 모델을 보여 준다.



그림 5. Flight Model of Deep Space Transponder

DST는 3개의 주요한 Block으로 이루어지며 수신기 부분(S-Band Front-End, X-Band Front-End)과 5 Watt 급 S-Band 송신기 부분, X-Band 송신기 부분으로 이루어진다.

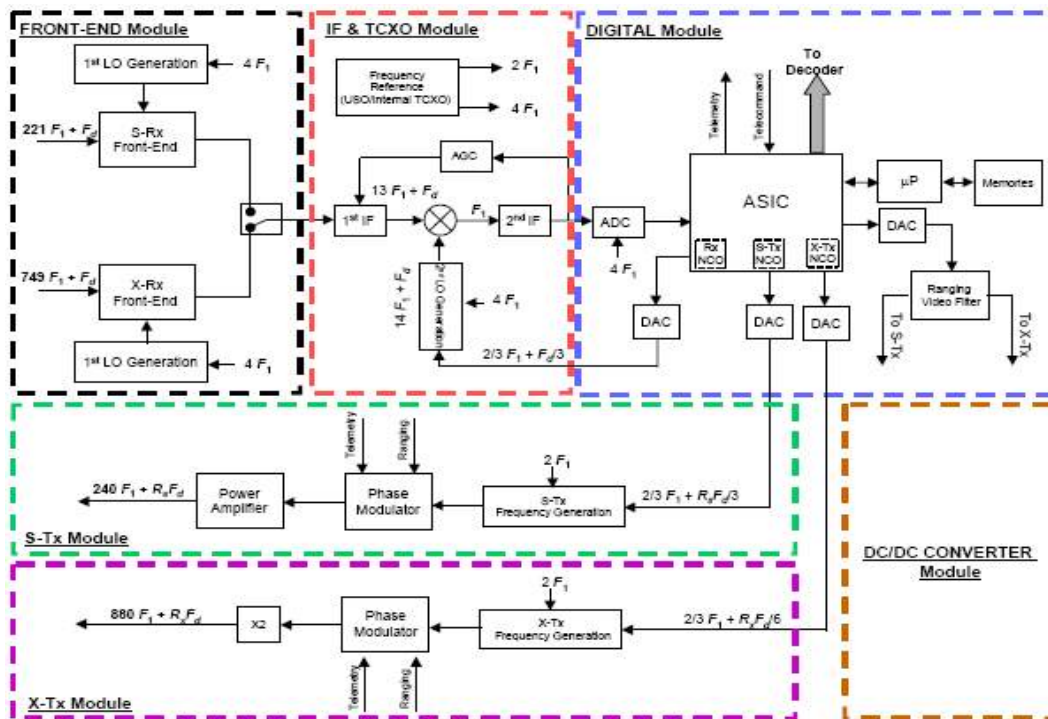


그림 4. Block Diagram of Deep Space Transponder

### 2.2.3 X-Band Deep Space Digital Transponder

일본 우주항공 연구 개발기구(JAXA)에서는 2004년에 새로운 개념의 deep space mission-용 X-Band Deep Space Digital Transponder(DSDT) EM (Engineering Model)을 개발하였으며 block diagram은 그림 6과 같다.

새로운 개념의 X-Band Deep Space Transponder는 디지털 트랜스폰더의 개념을 구현하기 위하여 다음의 요구 사항을 가지고 있다.

- Digital Signal Processing in Demodulator  
기존의 트랜스폰더 개념은 demodulator를 아날로그 회로로 구현하는 것이었지만 디지털 회로를 사용하는 새로운 개념을 적용하여 우주 탐사용 digital processing instrument를 사용하여 비용을 줄이고 아날로그 회로를 설계하는데 소요되는 시간을 줄였으며 그 결과로 수신기의 sensitivity와 성능 stability를 개선하였다.

- Onboard Implementation of Regenerative Ranging Capability

Deep space mission에서 위성과 지상국간의 링크 마진을 더 확보할 수 있도록 Regenerative Ranging 방식을 구현하였다.

그림 7은 실제 제작된 EM Model의 사진을 보여주며 표 4는 X-Band Deep Space Digital Transponder의 설계 parameter를 정리한 것이다.

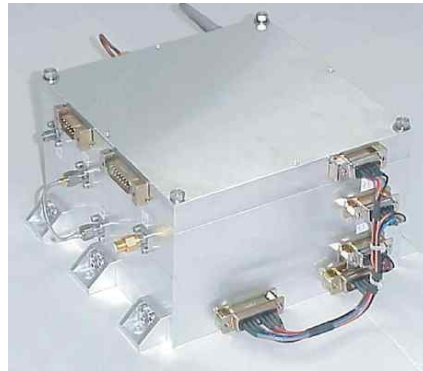


그림 7. EM Model of X-Band DSDT

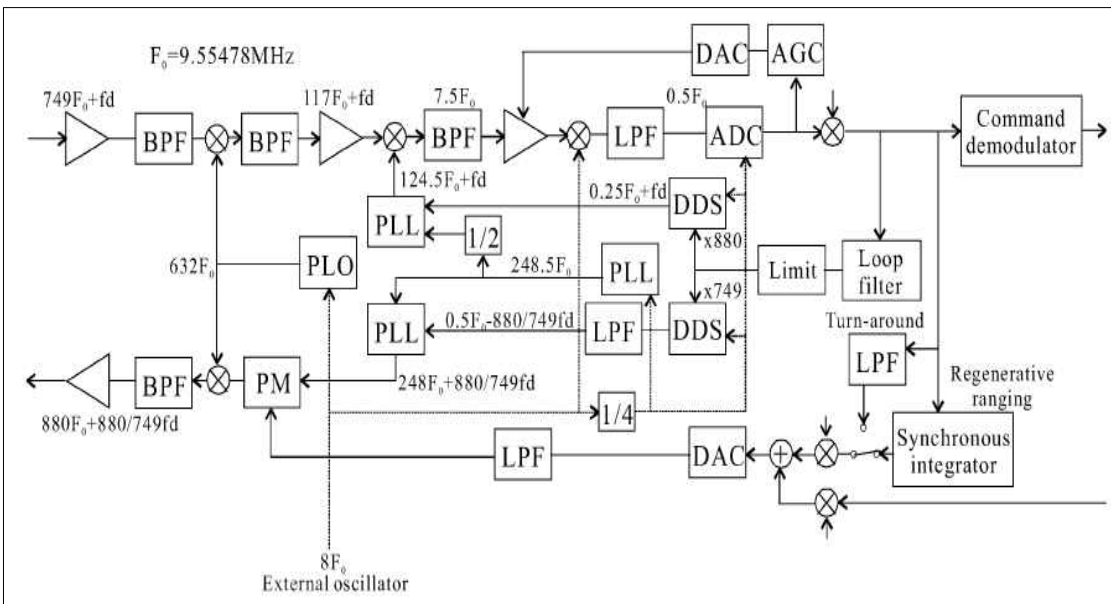


그림 6. Block Diagram of X-Band Deep Space Digital Transponder



표 4. X-Band DSDT Main Parameters

Parameter	Nominal Value
Frequency (Uplink/Downlink)	7156.23MHz/8408.21MHz
Noise Figure	1.53 dB
Carrier Acquisition Threshold	<-150 dBm
Tracking Signal Range	-150 dBm ~ -70 dBm
Tracking Frequency Range	±100 KHz
Output Level	20 dBm
Mass	3.4 Kg
Power Consumption	19.8 W
Volume	15×15×9.5 cm <sup>3</sup>

### 2.2.4 Advanced Deep Space Transponder

미국 항공우주국(NASA)에서는 1992년에 개발된 Small Deep Space Transponder(SDST)를 deep space mission에 사용하여 왔으며 현재 2010년을 목표로 digital signal processing 개념이 적용된 새로운 개념의 진보된 deep space mission용 X-Band Digital Transponder를 개발하고 있다. 새로운 트랜스폰더를 개발하게 된 이유는 기존에 개발된 SDST 트랜스폰더의 부품들의 재고가 몇 년 안에 소진될 것으로 예상되어 설계가 유연한 디지털 회로 개념이 도입된 트랜스폰더의 개발 필요성 때문이다.

NASA에서 고려한 디지털 트랜스폰더의 설계 개념은 다음과 같다.

- Preservation of Function and Performance  
SDST의 성능을 유지하면서 새로운 성능을 추가하는 방향으로 설계
- Reduction of Power, Weight, and Manufacturing Cost  
SDST에 사용된 많은 수의 RF Component와 RF Multi Chip Module(MCM)을 Radio Frequency Integrated Circuits(RFICs)나 Monolithic Microwave

Integrated Circuits(MMIC)로 대체하여 전력을 50%이상 줄이도록 설계

- Support of Spacecraft Crosslinks as well as Direct-to-Earth Links  
향후 사용될 data relay 위성 및 다양한 여러 mission의 위성들과의 통신을 고려하여 설계
- Increase in Data Throughput  
미래의 mission에서 요구되는 대용량의 데이터 전송을 위하여 downlink telemetry rate을 100 Mbps를 목표로 하였으며 이를 위하여 32 GHz (Ka-Band 대역) 대역의 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 방식을 적용하도록 설계
- Built-in Redundancy and Modular Design  
Direct-to-End(DTE) link와 spacecraft crosslink를 동시에 지원하고 기능적인 잉여성(redundancy)을 확보하기 위하여 modular architecture 및 RF front end를 2.2 GHz(S-Band 대역), 8.4 GHz (X-Band 대역), 32 GHz(Ka-Band 대역)에서 동작하도록 설계

- Design of a Frequency-agile Front End  
Deep Space Network(DSN) band에 할당된 모든 채널을 커버하기 위하여 front end의 주파수를 신속하게 변경할 수 있도록 설계

- Addition of New Signal Processing Functions  
Pseudo-Noise(PN) Regenerative Ranging, Crosslink PN Ranging 등의 부가적인 새로운 기능들을 지원하기 위하여 digital signal processing 개념으로 설계하며 기존의 RF와 digital의 경계에 있던 부분들을 digital 부분으로 설계하여 digital signal processing을 통한 flexibility와 programmability를 제공하도록 설계

Deep Space Network(DSN)에서 정의하고 있는 각 주파수 대역의 coherent turn-around ratio는 표 5와 같다. 그림 8은 modular front end architecture 개념을 보여주는 advanced deep space transponder의 block diagram을 보여준다. S-Band, X-Band, Ka-Band 대역을 selectable하게 switching 할 수 있도록 설계되었으며 필요에 따라 송수신 주파수를 바꾸어(Inverted 구조) front end module 배열을 구성할 수 있게 설계하였다.

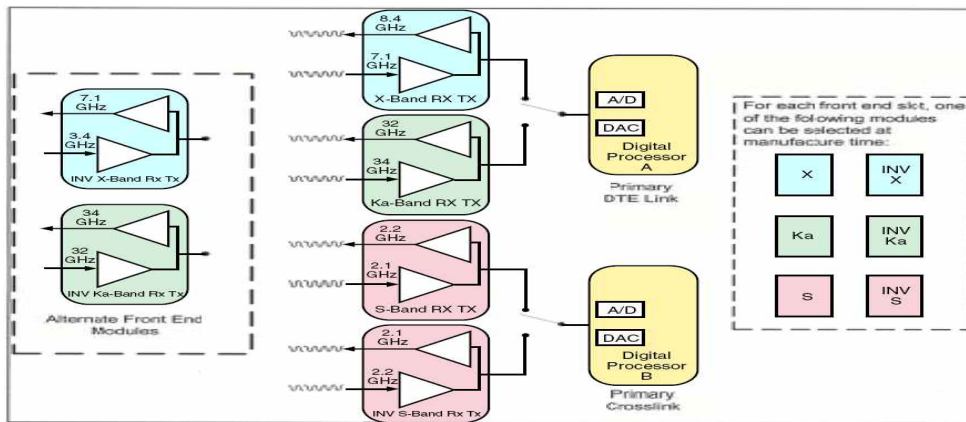


그림 8. Modular Front End of the Advanced Deep Space Transponder Block Diagram

표 5. DSN Specified Coherent Turn-Around Ratio

DSN Frequency Band	Uplink/Downlink Turn-around Ratio
S-Band	221/240
X-Band	749/880
Ka-Band	3557/3344

### 3. 결 론

지금까지 본 논문에서는 1980년 대 이후로 적용되어 온 기존의 트랜스폰더에 대한 설명과 현재까지 새롭게 개발된 트랜스폰더 및 현재 개발되고 있는 트랜스폰더 기술에 대하여 기술하였다. 기존의 트랜스폰더가 아날로그 부품으로 주로 구성되었다면 현재 새롭게 주목을 받고 있는 트랜스폰더는 아날로그 RF 부분의 경우에는 MMIC로 소형화 및 저전력화를 가능하게 하였으며 digital 개념을 도입하여 FPGA와 ASIC으로 digital 부품을 사용하여 설계의 flexibility와 programmability를 개선한 트랜스폰더가 주로 개발되고 있다. 현재 S-Band용 트랜스폰더 뿐 아니라 향후 추진하게 될 lunar exploration mission이나 deep space mission을 위한 트랜스폰더 역시 최신 기술 동향의 흐름에 따라 digital 트랜스폰더의 도입이 필수적이며 이 경우 어떠한 mission이나 요구 사항에도 유연한 설계가 가능할 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

1. E.López et al., "I.S.B.T.: A new generation of compact, multimode-multimission S-band transponders", ESA Workshop on TTC, 2004
2. L.Simone et al., "Digital Signal Processing for Deep Space Transponder", DSP2001 Workshop, Sesimbra, Portugal, October 2001
3. Tomoaki Toda et al., "X-Band Deep Space Digital Transponder and Regenerative Ranging", JAXA, Research and Development Report, 2004
4. B.Cook et al., "Development of the Advanced Deep Space Transponder", NASA, Progress Report, 2004
5. J.Berner et al., "The NASA Spacecraft Transponding Modem", Aerospace Conference Proceedings, 2000 IEEE, Vol.7, March 18-25, 2000, pp.19209
6. 원영진 외, "위성용 MMIC 기술 동향", 항공우주 기술지, 제7권, 제1호, 2008, pp.121-128