

위성통신 감시제어 시스템 기술 소개

공 남 수 / 한국전자통신연구소
위성망제어 연구실 실장

□ 차 례 □

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| I. 개요 | IV. 위성통신 감시제어 시스템 요구 기능 |
| II. 위성통신 감시제어 시스템 구성 | V. 실험 모델 개발 |
| III. IOT 및 CSM 측정 파라메타 | VI. 향후 발전 방향 |

I. 개 요

통신 위성을 발사하고 정지 궤도에 진입시킨 후, 지상에서 통신 위성 및 위성통신 시스템을 감시 및 제어하기 위해서는 지상에 위성 관제 시스템 [위성 관제국] 및 위성통신 감시제어 시스템 [위성통신 감시제어국]이 필요하다. 위성통신 감시제어 시스템은 크게 IOT/CSM 기능과 NCC 기능으로 나누어지며, 다시 IOT/CSM 기능은 IOT 기능과 CSM 기능으로 나누어진다.

IOT(In Orbit Test) 기능은 궤도에 진입된 위성 중계기로 통신 서비스를 시작하기 전에 위성 중계기의 이상유무와 성능상태를 확인하고 위성 중계기의 운용 계획을 세우기 위한 것이다.

CSM(Communication System Monitoring) 기능은 운용중인 통신 서비스의 상태를 모니터링하여 서비스에 대한 품질 유지와 다른 서비스에 대한 장애를 미연에 방지하고, 나아가 중계기의 활용 상태를 극대화하는 데 목적이 있다.

NCC(Network Control Center) 기능은 IOT/CSM 및 수집된 지구국 정보를 근거로 위성중계기를 중심으로한 위성망의 운용 상태를 종합 감시하고, 위성중계기의 제어 및 절체 등 위성망의 총괄적인 제어를 수행한다.

II. 위성통신 감시제어 시스템 구성

위성 제어 지상시스템은 크게 위성관제 시스템 및 위성통신 감시제어 시스템으로 구분되며, 위성관제 시스템은 TTC(Tracking Telemetry and Commanding)와 SCC(Spacecraft Control Center)로 나누어진다. 위성통신 감시제어 시스템의 IOT/CSM은 위성관제 시스템의 TTC와 일반적으로 안테나 및 RF 장비를 공유하도록 구성하며, CSM은 계속적으로 위성통신을 감시하여야 할 필요가 있으므로 별도로 장비를 구성하기도 한다. KORE-ASAT의 경우는 IOT/CSM은 주관제소 TTC와 같이 설치하고, CSM은 부관제소 TTC와 같이 설치

하여, CSM 장치를 지역 이중화하고, 원격 운용이 가능하도록 되어 있다.

• 안테나부

안테나는 Full Motion Antenna 혹은 Limited Motion Antenna를 사용할 수 있으며, TTC와 공용으로 사용하므로, TTC의 요구조건을 따른다. 안테나부의 구성은 안테나 Reflector, 안테나를 지지하는 Pedestal, 안테나를 구동하는 Servo Amplifier 그리고 안테나 제어장치(ACU)로 구성되어 방위각(Azimuth)과 양각(Elevation) 두축으로 제어된다. 보조 장치로는 겨울철에 안테나의 표면에 생기는 얼음과 눈을 제거하기 위한 히터 장치와 안테나의 Feed와 WaveGuide에 건조 공기를 주입시켜 습기 발생을 방지하는 공기 주입 장치가 있다.

• RF부

RF부는 IOT/CSM 및 TTC에서 공유하여 사용하며, 70 MHz의 IF 주파수로 TTC와 접속된다. 안테나로 수신된 신호는 LNA를 거쳐 증폭된 후 Down-Converter를 통하여 IF 주파수로 출력되며, 반대로 IF 주파수로 입력된 출력 신호는 HPA를 거쳐 증폭된 후 안테나를 통하여 위성으로 방사된다. HPA, LNA, RF-Switch, Up/Down Converter 등은 이중화되어 있으며, 필요시 운용자의 제어에 의해서 혹은 장애시 자동으로 절체된다.

• 신호 및 계측부

IOT 시험은 위성중계기를 Black-Box로 보고 위성 중계기의 성능을 시험하는 것이므로 고도의 시험기술과 경험이 요구된다. 위성중계기로 측정을 위한 합성된 신호를 방사하기 위해서는 마이크로웨이브 신호 발생장치 및 파형 발생기, 변조기, 등이 필요하고, 수신된 신호를 측정하기 위하여 복조기, 파형 분석기, 스펙트럼 분석기, 마이크로웨이브 전력 측정기, 마이크로웨이브 주파수

측정기 등의 계측장비가 사용된다. 그리고 컴퓨터에 의한 제어가 가능하도록 계측제어용 표준 버스인 IEEE-488 GPIB BUS로 계측제어 컴퓨터에 접속된다.

• IOT/CSM 제어 컴퓨터부

IOT/CSM 제어 컴퓨터는 실제로 신호장비 및 계측장비를 제어하여 측정이 이루어지도록 측정 명령의 발생과, 측정된 결과값의 수집, 저장 등의 기능을 수행한다. 측정은 실시간으로 이루어져야 하며, 계측 및 신호 장비의 접속 제어를 위하여 IEEE-488 GPIB 버스 접속 기능을 가진다. 또한 KOREASAT의 경우 지역적으로 이중화되어 있어, 원격에서도 측정이 가능하도록 네트워크 기능을 가지고 있으며, 운용자와 보다 쉽게 인터페이스를 하기 위하여 그래픽 칼라 화면 및 마우스를 사용한 X11 그래픽 윈도우 환경을 사용하고 있다.

• NCC 제어 컴퓨터부

NCC 제어 컴퓨터는 IOT/CSM 제어 컴퓨터 및 SCC 제어 컴퓨터와 TCP/IP 프로토콜에 의한 LAN으로 접속되어 있으며, KOREASAT의 경우 부관제소에 위치한 CSM 사이트와 접속을 위하여 전용회선에 의한 네트워크 접속 장치를 갖는다. 또한 보고서 등의 출력을 위한 프린트, 플롯터와 시스템의 백업과 측정 데이터의 장기 저장을 위한 고용량 테이프 드라이브를 갖는다. IOT/CSM 제어 컴퓨터와 마찬가지로 운용자의 사용을 보다 쉽게 하기 위하여 X11 그래픽 윈도우 환경을 사용하고 있다.

Ⅲ. IOT 및 CSM 측정 파라메타

IOT는 위성이 지상에서 발사된 후 정지궤도에 진입하고, 서비스를 수행하기 전에 실시되며, 위성 발사시의 열과 충격으로 인한 손상 유무의 확

인과 성능 저하 정도를 시험하여, 발사전 데이터와 비교한다. IOT 시험은 크게 위성 버스에 대한 시험과 위성 중계기에 대한 시험으로 나누어지지만 여기서는 위성 중계기에 대해서만 언급한다. IOT 파라메트는 위성 중계기의 중계방식에 따라 조금씩 차이는 있으나 대개 비슷하고, IOT 기간도 발사된 통신 위성의 용량과 복잡도에 따라 다르나 일반적으로 4-6주 정도 소요된다. 시험중에는 인접 위성 및 통신 서비스에 대한 영향 등을 최소화시켜야 되므로 시험에 들어가기전에 면밀한 사전 검토가 필요하다. IOT 시험 데이터를 토대로 위성 중계기의 성능 분석이 이루어지며, 분석이 이루어진 후, 중계기 Loading Plan을 만든다. IOT 시험은 중계기를 매각하거나 대여하기 전에 부분적으로 다시 이루어지는 것이 일반적이며, 서비스가 시작되지 않는 상태에서 이루어진다.

CSM 파라메타는 대상 서비스와 직접적인 관련이 있으며, 운용중인 서비스가 허가된 전력으로, 허가된 주파수내에서, 다른 서비스에 장애를 주지않고 운용되고 있는지를 감시하고, 나아가 문제를 발생시키는 지국국이 있다면, 어느 지국

국이 어떤 문제를 발생시키는지를 찾아내어 위성 통신망이 정상적으로 운용되게 하는데 CSM의 목적이 있다.

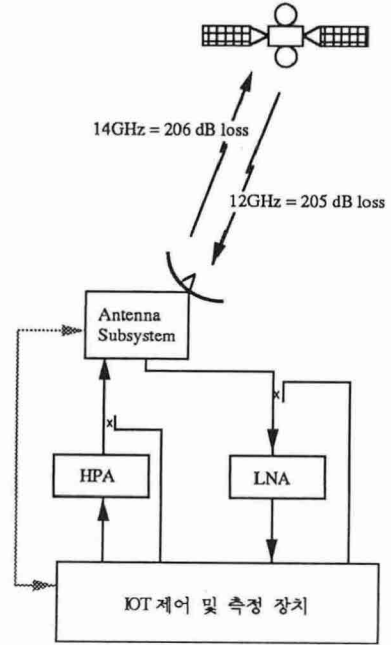


그림 1. IOT기본 구성도

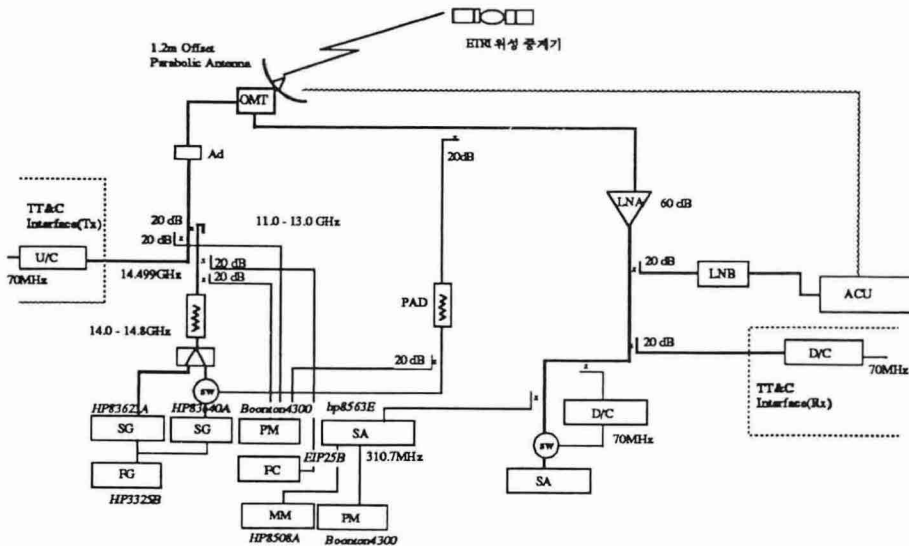


그림 2. ETRI IOT/CSM 측정 구성도

3.1 IOT 파라메타

IOT시 IOT 국에서 위성까지 그리고 위성에서 IOT 기준국까지 Link를 형성하는 기본 구성도는 <그림 1>과 같다.

송신단의 IOT 지구국 안테나에서 위성까지의 14 GHz Up-Link 신호는 약 206 dB 정도 자유공간 손실 후에 위성안테나에 입력되고, 위성의 중계기에서 주파수 변환 및 증폭이 되어 IOT 지구국으로 재송신되는 12 GHz Down-Link 신호는 약 205 dB 정도의 자유 공간 손실을 가진 후, LNA를 거쳐 측정된다.

IOT 측정 구성도는 측정 Method에 따라 구성이 달라지나, <그림 2>는 ETRI에서의 IOT/CSM 측정 구성도를 나타낸 것이다.

- SFD(Saturated Flux Density)

Flux Density는 지상에서 전송한 신호가 얼마만한 세기로 위성 안테나에 도달되는가를 나타내는 척도로 사용되며, SFD는 위성 중계기의 출력이 포화되는 점에서의 Flux Density를 나타낸다.

- 포화 EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power)

EIRP는 위성 안테나에서 송신되는 Power의 세기를 나타내는 척도로 사용되며, 위성 중계기의 TWTA 출력과 위성 안테나의 송신 이득에 비례하고, 포화된 위성중계기의 안테나에서의 EIRP를 말한다. 측정은 SFD 시험시 위성 중계기가 포화되므로, SFD 측정과 동시에 이루어진다. 포화 EIRP는 위성 안테나에서의 출력을 측정하여야 하나, 실제로 측정할 수 없으므로, 지상의 LNA 출력을 Spectrum Analyzer 및 Power Meter로 측정하고, 이 측정값에 지상 안테나 수신 이득, LNA 이득, 하향링크 대기손실, 측정 Path에서의 손실을 보정하여 포화 EIRP를 측정한다.

- 이득 전달 곡선(Gain Transfer Curve)

위성 중계기의 입력 Flux Density에 대한 출력 EIRP 특성을 나타내는 것으로, 측정은 SFD, 포화 EIRP를 측정할 때 동시에 수행할 수 있으며, 위성 중계기의 이득전달 곡선이 선형 영역에서 포화점에 도달할 때까지 수행한다.

- 주파수 응답(Frequency Response)

위성 중계기의 채널에 대한 대역 필터 특성을 시험하는 것으로, Carrier의 주파수를 대역 내외의 여러 값으로 바꾸어가며, 채널의 대역 특성을 측정한다.

- 변환 주파수(Translation Frequency)

위성 중계기내의 Local Oscillator의 성능을 시험하는 것으로, 상하향 링크 반송파의 주파수를 측정하여, 이 측정 값으로부터 위성 중계기의 변환 주파수를 시험한다. 시험은 FSS 및 DBS의 각각의 1개의 채널에 대해서만 이루어진다.

- Group Delay

위성 중계기의 중심 주파수에 대한 상대적인 지연 특성을 시험하는 것으로, 송신한 두개의 FM 변조 시그널에 대하여 Down-Link된 두신호를 복조한 위상차를 시간 지연으로 보정하여 계산한다.

- G/T(Gain to Noise Temperature Ratio)

위성 수신 안테나 이득과 전체 중계기 Noise Temperature에 대한 비를 나타내며, 시험 지구국(IOT 지구국)의 안테나가 기준 Noise Source로서 별 또는 달을 지향할 때와 시험 대상 위성을 지향할 때의 Noise Power와 신호의 송수신 Power를 각각 측정한 다음 보정 계산한다.

- Spurious Output

위성 중계기의 모든 채널에 대하여 수행하며, 시험 대상 중계기 채널이 포화 상태에서 다른 모

든 채널의 레벨을 측정하며, 중계기가 포화되었을 때, 다른 중계기 채널에 영향을 미치는 정도를 나타낸다.

Antenna Pattern

위성의 송수신 안테나를 일정 간격 스텝(예 : 0.5도 step)으로 동서로 조금씩 움직여 가면서, 수행하며 시험 지구국의 일정한 송신 Power에 대하여 위성의 Flux Density와 EIRP를 Boresight의 Off-Set Angle을 나타낸다.

• **Polarization Isolation**

Co-Polarization과 Cross-Polarization에 대한 송/수신 Power로 부터 Isolation 값을 보정한다. 시험 지구국의 송수신 편파기의 Co-Polarization과 Cross-Polarization Mode 조정이 필요하다.

• **Gain Adjustment**

위성 중계기의 감쇄기 Step (CGC) 값을 측정하기 위한 것으로 일정한 Flux Density에 대한 EIRP 변화를 측정하여 지상제어의 Telecommand에 의한 위성 중계기의 감쇄기 조절을 통해 감쇄기 Step 값으로 보정한다.

이상 언급한 외에 TC&R계에 대한 IOT 시험으로 Telemetry EIRP, Telemetry Frequency, Telemetry Modulation Index, Command Threshold Level에 대한 시험이 있으며, 위성 Beacon Carrier의 RF 신호를 IOT 장치로 수신하여 측정한다.

3.2 CSM 파라메타

IOT 시험 후 중계기 분석이 이루어지며, 중계기 Loading Plan에 따라 Loading이 이루어진다. 위성 중계기가 서비스를 시작하면, 위성 중계기로부터 Down-Link되는 모든 Traffic Carrier들은 CSM 측정 장치에 의하여 감시된다. 측정 데이터를 근거로 위성망의 상호 간섭에 대한 조사 등,

위성 통신 서비스의 품질을 최대화할 수 있도록 서비스의 연속성 보장과, 신뢰성있고 품질 좋은 서비스를 제공을 위해 24시간 감시가 필요하다.

Carrier는 운용을 시작하기 전에 충분한 시험을 거쳐 운용되지만 중계기내의 Inter-Modulation Product와, 같은 Channel 내의 공유 Carrier간의 편파 분리도의 감퇴, 안테나 방향 에러, 기상 상태 악화, 운용자의 실수, 장비의 장애 등의 이유로 인해 캐리어의 성능은 계속 나빠지는 경우가 많으며, 성능상의 감퇴가 발생하면 이를 즉시 해소할 수 있도록 조치가 이루어져야 한다. 위성 통신 감시 기능은 위성 통신망 구성에 따라 여러 가지가 있을 수 있으며 서비스에 따라 구분된다.

CSM 장치는 서비스별로 서비스 Carrier를 감시하기 위하여, RF, IF, BB 신호를 측정하여, EIRP, Center Frequency, Frequency Bandwidth 등을 측정하여, 데이터 베이스에 저장된 허가값과 허용 범위를 만족하는지를 검사한다.

• **Spectrum 분석**

특정 Bandwidth 내에서 threshold 값 이상의 모든 신호에 대한 Carrier EIRP와 Carrier Center Frequency, Bandwidth를 측정한다.

- **Carrier EIRP**

Carrier에 대한 Satellite EIRP는 측정값과 데이터 베이스내의 보정값으로 부터 계산한다. Carrier EIRP 측정은 RF단 Injection Power, IF Injection Power, Down Link Power, Noise Power를 필요로 하며, IF Noise 대역폭비, 신호 Path Loss, Coupler Loss와 LNA 입력단에서의 Power에서 구하며, LNA 입력 Power 및 Feed와 안테나 사이의 Loss, 안테나 이득, RF Link Loss로부터 위성에서 Carrier EIRP를 계산한다. 이 밖에 인접한 두개의 Carrier간의 Relative EIRP 및 Down-Link EIRP로 부터 환산한 Up-Link EIRP, 특정 Band-Width 혹은

Slot 내에서 Total Satellite EIRP의 측정도 필요하다.

- Carrier Center Frequency

Satellite Down Link Signal의 RF Center Frequency는 위성을 통해 중계되는 각 서비스별 모든 Carrier들의 Down-Link 주파수를 나타내는 것으로 주기적으로 Scan으로 24시간 감시가 필요하다.

- Frequency Bandwidth

서비스되고 있는 모든 Carrier의 대역폭을 측정하여, 허가된 대역폭으로 운용하는지 등 인접 Carrier와의 간섭 여부를 감시한다.

• Modulation

AM, FM, PM에 대한 Carrier의 Modulation을 Analysis를 하며, RMS 및 Peak Frequency Deviation, Modulation Index, Modulation Bandwidth를 측정하고, Demodulated Waveform의 측정이 필요하다.

• TDMA Bursts

동기 Burst 각각의 Power 및 Center Frequency를 측정한다

이상 언급한 파라메타 외에도 CSM 파라메타는 제공 서비스의 형태에 따라 여러가지 있을 수 있겠으나 여기서는 주요한 것만 언급하였다.

IV. 위성통신 감시제어 시스템 요구 기능

1. IOT/CSM 기능

IOT/CSM 요구 기능은 3.1, 3.2에서 언급한 IOT/CSM 측정 파라메타를 측정하기 위하여 신호 및 측정장치와 각종 스위치 등을 제어하는 측정 및 측정 데이터 수집을 하는 시험 처리 기능이 주기능이며, 수동 시험, 자동 시험, 계획 시험 등이 이루어진다. 크게 나누면 운용자 인터페이스 기능과 실제 측정을 수행하는 시험 처리 기능으로 구분할 수 있고, 운용자 인터페이스 기능에는

그래픽 사용자 인터페이스부, 수동 시험 처리부, 자동 시험 처리부, 시험규 관리부, 자동 시험 절차(Automatic Test Procedure)정의부, 상태 표시부, 시험 결과 저장 및 화면 출력부 등이 있다.

시험 처리 기능에는 계측 제어부, 시험 처리부가 있으며, 시스템 기능으로 스케줄러 기능과 IOT/CSM 및 NCC 접속 기능이 필요하다. 또한 원격 CSM의 접속을 위해서는 원격 접속 기능이 필요하며, 안테나는 별도의 제어 장치에 의해 자동적으로 제어된다.

소프트웨어는 가능한 계층 구조를 가져 기능적으로, 상호 독립적으로, 구축이 가능하여야 하며, 운용 체계, 네트워크 소프트웨어, 데이터 베이스 소프트웨어, 계측 제어 소프트웨어의 위에 시험 처리 및 운용자 인터페이스 기능이 구축된다. 처리 능력으로는 KOREASAT의 경우 200 SCPC Carrier, 10 TV/FM Carrier, 60 FDM/FM을 1시간에 모니터링 가능해야 한다.

2. NCC 기능

NCC 기능은 위성 통신망을 종합적으로 감시 및 제어하는 기능으로, 위성통신 감시 장치(CSM)를 통하여 수집된 측정 데이터와 SCC를 통하여 수집된 텔레메트릭 메시지와 시스템 데이터 베이스에 저장되어 있는 주파수 계획, 지구국 데이터 등을 통한 종합 분석으로,일간 주간 월간 등으로 운용 보고서를 작성하며, 위성망이 최적의 상태로 유지되도록 제어 및 계획한다. 또한 중계기를 제어 및 절체해야 할 경우에는 SCC를 통하여 중계기를 제어하도록 요구한다.

데이터 베이스에는 위성 통신망, 위성 중계기 및 IOT/CSM 지구국을 포함한 지구국들에 대한 구성 및 제원 데이터를 저장하고 있다.

NCC 기능은 크게 측정 데이터 수집 저장 및 분석 기능과, 위성 중계기 제어 기능, 위성망 상태 표시 기능, 위성 중계기를 포함한 위성망 제원 및 특성 데이터 관리 기능, 운용 데이터 저장 및

관리 기능, 원격 IOT/CSM 시험 기능, 원격 CSM 접속 기능, SCC 접속 기능 등을 가지며, 이러한 결과는 보고서 기능과 출력 기능을 통하여 출력 가능하다.

• Measurement Alarm

측정값이 허용된 범위를 벗어나면 측정 경보가 발생하며, 운용자의 주의를 위하여, 별도 화면에 출력되며, 발생한 메시지는 시간과 함께 운용데이터 베이스에 저장되어 별도로 분석된다.

• 데이터 베이스

NCC 데이터 베이스는 NCC 기능의 중심이며, 크게 형상 및 제원 데이터, 측정 데이터 및 운용 데이터로 나누어지며, 형상 및 제원 데이터에는 위성 중계기를 중심으로한 모든 위성망의 형상 및 제원 데이터와 주파수 계획 데이터, 보정 데이터, 운용자 데이터 등을 가지며, 측정 데이터에는 IOT 측정 데이터와 CSM 측정 데이터를 가진다. 운용 데이터에는 운용중 발생한 각종 경보, 장애 메시지 및 중계기 관련 TC/TM 메시지 등이 저장되어, 분석 및 보고서 출력이 가능하게 한다.

• 보고서

보고서는 시스템 관리 및 위성통신 시스템의 운용을 돕기 위하여, 일간 주간 월간으로 만들어지며, 측정보고서, 보정 보고서, 장애보고서 등이 있다.

V. 실험 모델 개발

KOREASAT 사업 추진과 함께 기술자립을 위한 국내 기술 확보라는 차원에서 한국 전자 통신 연구소를 중심으로 실험 모델 개발이 추진되어 왔으며, 현재 마무리 단계에 있다.

시험 대상 위성으로는 실험 모델 위성 중계기를 시험 대상으로한 의사 위성국으로 시험을 하

고 있으며, 실험 모델 위성 관제 시스템과는 LAN으로 접속되어 통신하고, 안테나부 및 RF부는 공유하도록 구성되어 있다. <그림 3>은 실험 모델 구성도를 나타낸 것이다.

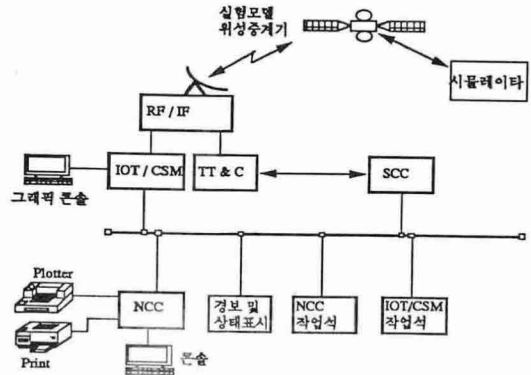


그림 3. 실험 모델 구성도

• 개발 환경

실험 모델 개발 환경으로는 HP 9000/700 UNIX 워크 스테이션에 IEEE-488 GPIB BUS로 신호 및 계측 장비를 접속하여, IOT/CSM 측정 장치를 구성하고 IOT/CSM용 워크스테이션과 NCC 워크스테이션은 IEEE 802.3 LAN으로 접속되어 있다. 상호간의 통신은 TCP/IP Socket으로 이루어진다.

• RF-Link

1.2m Off-Set 안테나 및 감쇄기를 통하여 위성 중계기와 RF로 연결되며, 실험 모델 위성 관제 시스템과 안테나 및 RF부를 공유하도록 구성되어 있으며, UP-Down Converter를 거쳐 IF로 TTC에 접속된다. 현재 실험 무선국 허가를 받고 시험을 하고 있다.

• 사용자 인터페이스 개발

사용자 인터페이스는 운용의 편이를 도모하기 위하여 X11 Motif 윈도우 환경에서 개발하고 있으며, 개발의 편이성과 생산성 향상을 위하여

GUI 개발 지원 환경인 TeleUSE를 사용하여 개발하고 있다.

• 데이터 베이스 구축

위성 통신망의 제원 및 특성 데이터는 그 특성상 객체지향 데이터 베이스의 특성과 매우 잘 맞는 분야로, 데이터 베이스의 확장성과 유지 보수성 등을 고려하여 객체 지향 데이터 베이스인 Versant를 사용하여 개발하고 있으며, 데이터 베이스 접속부는 C++ 언어를 사용하여 개발하고 있다.

• 시험 데이터 분석 기능

시험 데이터는 위성 중계기의 장기적인 성능 변화 등을 분석하는 데 매우 중요한 역할을 하며, 그래프로 장기 경향을 표현하며, 인공 지능 기법을 이용한 장애 데이터 분석 기법을 적용하고 있다.

VI. 향후 발전 방향

위성 통신 서비스에 대한 운용 경험이 전무한 상태에서 시작한 KOREASAT 사업도 이제 발사를 목전에 두고 있으며, 이제 실질적인 운용을 걱정할 때가 되었다고 생각한다. 이제부터는 실제 운용에 필요한 위성망 운용 지원 시스템의 개발 및 IOT/CSM, NCC 등과의 연계성 등에 대한 연구가 필요하다고 생각되어진다.

제 2세대 위성 시스템 개발을 위한 독자 기술 확보 차원에서 추진되어온 실험 모델 개발도 이제 기초적인 기술은 확보가 되었다고 보아지며, 기술적으로는 디지털 위성 링크에 대한 시험 기술, TDMA 시험 기술, Traffic 및 Spectrum 감시 기술, 인공 지능 기술을 도입한 지능형 위성통신 감시제어 시스템 기술 등에 대한 연구가 필요하며, CDMA에 기반을 둔 이동 위성에 대한 감시 제어 기술 및 고속 광대역 위성 통신 분야에 대한 감시 제어 기술에 대한 기초 연구도 시급히 이루어져야 할 분야라고 하겠다.

筆者紹介

▲孔 南 秀(Kong, Nam Soo)

- 1979년 2월 : 부산대학교 전기공학과 학사
- 1990년 2월 : 충북대학교 전산학과 석사
- 1980년 4월 : 한국전자통신연구소 입소
- 1994년 3월 ~ 현재 : 위성망제어 연구실 실장