

천리안 위성통신시스템과 관제시스템의 개발 및 활용

Development and Application of COMS Communication Payload and
Satellite Ground Control System

스마트 코리아 실현을 위한 실감
방송통신 융합기술 특집

조진호 (J.H. Jo)	위성시스템연구팀 책임연구원
이병선 (B.-S. Lee)	위성시스템연구팀 책임연구원
이성팔 (S.P. Lee)	위성시스템연구팀 책임연구원
김재훈 (J.H. Kim)	위성시스템연구팀 팀장
안도섭 (D.S. An)	위성무선융합연구부 부장

목 차

-
- I . 서론
 - II . 천리안 위성통신시스템 개발 및 활용
 - III . 천리안 위성관제시스템 개발 및 활용
 - IV . 결론

천리안 위성은 우리나라 최초의 정지궤도 복합위성으로 국내의 여러 국책연구기관이 공동으로 참여하였다. 천리안 위성 프로그램에서 ETRI는 천리안 위성의 통신탑재체 개발 및 위성관제시스템 개발을 담당하였다. 천리안 위성은 2010년 6월 27일 성공적으로 발사되어 1년이 지난 현재까지 무사히 본래의 임무를 수행 중이다. 본 지면에서는 ETRI가 개발하여 천리안 위성에 실은 통신탑재체의 개발과정과 위성을 감시 제어하는 관제시스템의 개발과정에 대하여 살펴보기로 한다.

I. 서론

천리안 위성(통신해양기상위성)은 정부 내 여러 부처(교육과학기술부, 방송통신위원회, 국토해양부, 기상청)가 공동으로 추진한 국내 최초의 정지궤도 위성으로, 여러 국책연구기관(한국항공우주연구원, 한국전자통신연구원, 한국해양연구원, 국립기상연구소)이 공동으로 참여하였다.

천리안 위성사업의 일환으로 추진한, 통신탑재체 개발은 고부가가치 분야인 통신위성 탑재체의 기술 자립과 우주인증 확립을 목적으로 하고 있으며, 이를 위해 부품부터 시스템까지 설계, 제작, 시험의 전 과정에 걸쳐 국내 기술진에 의해 순수 국산개발 하였다. 통신탑재체의 국산화 비율은 80% 이상이며, 세계 10위권의 통신탑재체 자체 개발국이 되었다.

천리안 위성 발사 후, 정지궤도에 안착된 통신탑재체의 궤도내시험(IOT)을 성공적으로 수행하여 국산 통신탑재체가 정지궤도 우주에서 정상동작됨을 입증하였다. 통신탑재체는 정지궤도에서 정상 운영 중이며, 향후 우주전파실험을 지속적으로 실시하여 우주 기술개발에 활용되며, 그 외에 국내 주관 개발된 Ka 대역 위성통신방송 기술검증 및 차세대 위성통신방송서비스 창출에 본격 활용 예정이다.

천리안 위성관제시스템은 한국전자통신연구원에 의해서 국내 최초로 개발된 정지궤도 위성관제시스템으로서 동경 128.2°에 위치하여 위성통신, 해양관측, 그리고 기상관측을 수행하는 천리안 복합임무 위성에 대한 감시 및 제어를 수행한다. 천리안 위성관제시스템은 일반적인 정지궤도 위성의 관제기능에 추가하여 유럽의 EADS 아스트리움사의 Eurostar 3000 위성체 버스의 운용에 요구되는 특수한 관제요구사항이 모두 반영되어 개발되었다. 따라서 해외에서 상업용으로 개발된 위성체 버스타입에 대해서도

각 기능에 대한 사용자 요구사항서(user requirement document)의 정의를 통해 국내의 기술로 해당 위성의 관제시스템을 개발할 수 있음을 보였다.

천리안 위성관제시스템은 한국항공우주연구원에 설치되어 위성이 발사된 이후부터 지금까지 정상적으로 운용되고 있다.

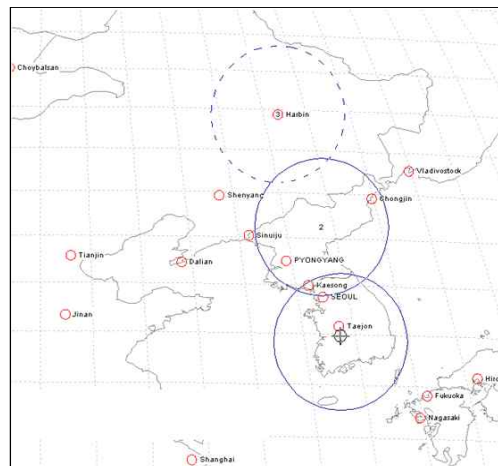
본 고에서는 천리안 위성의 위성통신을 위한 통신탑재체 그리고 위성을 지상에서 감시하고 제어하기 위한 관제시스템의 개발 및 활용에 대해서 기술한다.

II. 천리안 위성통신시스템 개발 및 활용

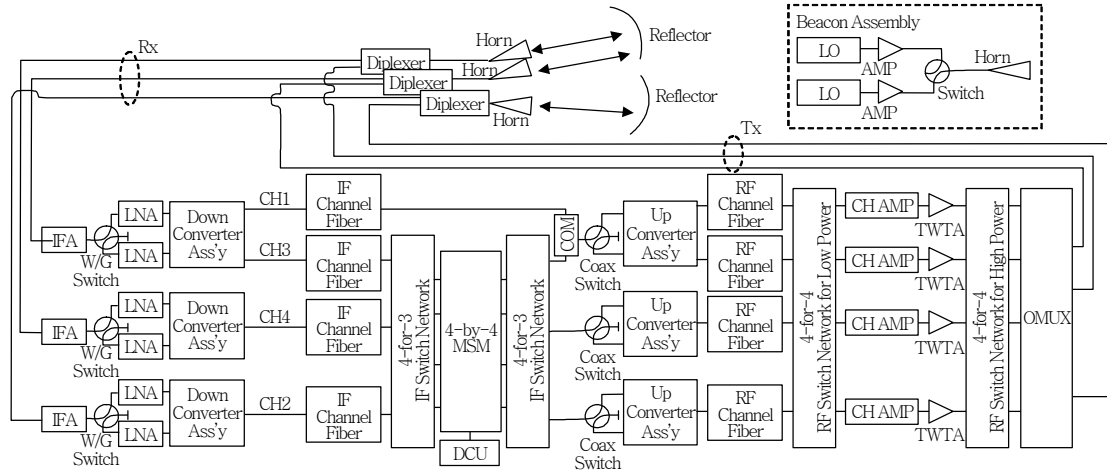
1. 천리안위성 통신탑재체 개발

가. 통신탑재체 구성

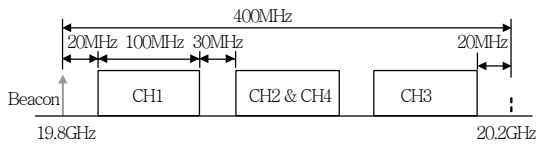
천리안위성 위성통신 시스템의 서비스 커버리지는 남한, 북한 지역 및 중국 일부를 포함하며, 위성에서 각 빔 간에 신호 연결이 가능하도록 빔 스위치를 탑재하고 있다. 통신탑재체의 서비스 수명은 IOT 이후 최소 7년이지만, 탑재체를 구성하는 모든 부품의 설계 수명은 12년 이상으로 설계되었다. (그림 1)은 천리안위성 통신탑재체의 서비스 커버리지를 보여준다.



(그림 1) 천리안위성 통신서비스 커버리지



(그림 2) 천리안위성 통신탑재체 구성도



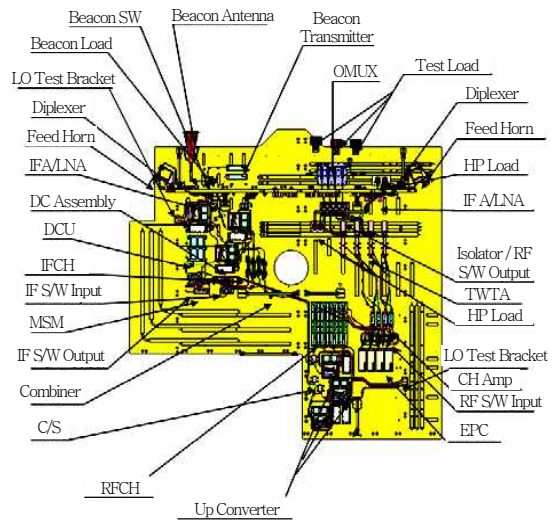
(그림 3) 천리안위성 통신탑재체 주파수 배치

남한빔 2채널(1번, 3번)과 북한빔 1채널(2번)은 운영중인 active 채널이며 중국빔 1채널(4번)은 사용하지 않고 redundancy 채널로 운영 중이다. 각 빔의 안테나는 독립적인 피드를 가지고 있으나 남한빔과 중국빔은 안테나 반사판을 공유하고 있다. 따라서 안테나 시스템은 3개의 피드와 2개의 반사판으로 구성된다. 또한 비컨 신호를 발생시키는 이중화된 비컨 송신기를 탑재하고 있다.

탑재체 시스템은 30GHz 대역의 상향 링크 수신 신호를 S 대역(3.4GHz 대역)의 IF 신호로 주파수 변환한 뒤 위성에서 빔 간 스위칭 기능을 수행한 후 20GHz 대역의 하향 링크 신호로 변환하여 지상으로 송신한다. 중계기는 100MHz 대역폭을 갖는 4개 채널로 구성되며 채널2와 채널4는 동일한 주파수를 사용되 서로 다른 편파를 이용하여 구분된다. (그림 2)는 천리안위성 통신탑재체의 구성도이며 (그림 3)은 위성의 주파수 배치를 보여준다[1].

나. 중계기 서브시스템 개발

천리안 위성 중계기 부품 개발은 1990년부터 위성 탑재체용 RF 부품을 개발한 경험을 바탕으로 탑재체 구성품의 약 80%의 개발 부품을 선정하여 인증 모델 개발을 토대로 국내외 전문가와의 상세 설계 검토 회의를 통해 설계 결과에 대해 검증하였다. 국내에서 개발한 중계기 부품은 입력 필터 어셈블리, IF 대역 채널 필터, RF 대역 채널 필터, 출력 멀티플렉서, 저잡음 증폭 및 하향 주파수 변환기, 상향 주파수 변



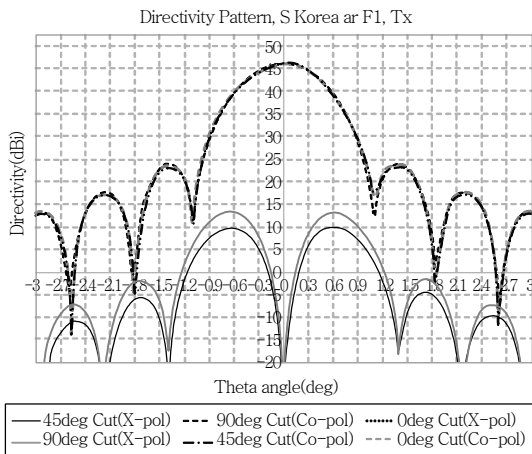
(그림 4) 판넬에 조립된 중계기 형상

환기, 국부 발진기, 채널 증폭기, 마이크로웨이브 스위치이다. 위성체 판넬에 조립된 중계기 모습은 (그림 4)와 같다.

다. 안테나 서브시스템 개발

안테나는 구조적으로 위성체의 동.서 패넬에 각각 1개의 오프셋 파라볼릭(parabolic) 반사판과 동쪽 패넬에는 두 개의 피드어셈블리, 서쪽 패넬에는 한 개의 피드어셈블리로 구성된다. 각 피드어셈블리는 파라미드 혼, 다이플렉서 및 송/수신 도파관으로 이루어져 있다. 동경 128.2° 정지궤도에서 두 안테나는 방위각에 대해서 -0.09deg, 양각에 대해서 5.75deg의 방향으로 지향하도록 설계되어 있다.

안테나 EOC 이득은 송신 경우에는 41.49dBi 수신일 경우에는 42.98dBi로 송수신 모두 규격을 만족하도록 설계되어 있다. EOC 이득 기울기는 안테나의 송신 경우에는 11.25dB/deg, 수신 경우는 20.45dB/deg이다. 안테나 교차 편파의 빔 간 격리도는 주파수 재사용을 고려하여 30dB 이상이고, 안테나 부엽과 수준은 송수신 모두 20dB 이상의 요구사항에 대해서 설계 결과는 모두 만족한다[2],[3]. (그림 5)는 안테나 패턴 특성 분석이다.

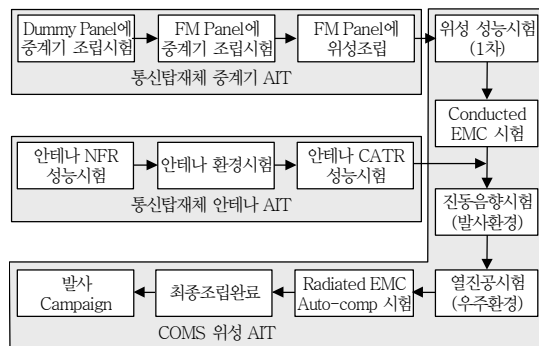


(그림 5) 안테나 2D cut pattern 분석 결과

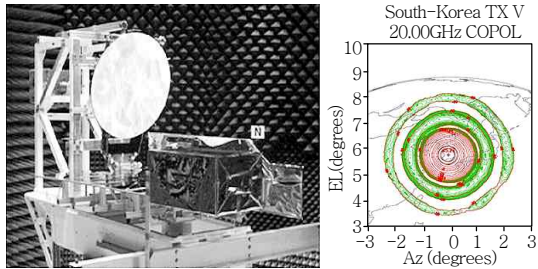
라. 조립 및 성능시험

ETRI에서 제작한 천리안 위성 중계기는 크게 2단계로 나뉘어 진행되었다. 첫 번째 단계에서는 제작된 중계기 부품을 위성 FM 판넬과 동일한 기계적 정합 조건을 갖는 dummy 판넬 상에서 먼저 조립하고 시험하였다. 이 단계에서는 중계기의 RF 성능 검증 및 위성체와의 기계적 정합성을 확인하는 것이 목적이다. 그 후에 중계기의 모든 부품은 KARI에 위치한 위성 조립 시험실로 이동하여 위성의 +Y 판넬에 조립되었다. +Y 판넬에 조립이 완료된 후에는 중계기의 RF 성능을 재검증하였다. 그 후에 중계기 판넬은 위성체에 조립되어 완전한 위성의 형상을 갖추었으며, 다양한 우주 환경 및 발사 환경에서 통신 중계기의 성능 시험을 실시하였다[4]. 중계기의 조립 및 시험 과정은 (그림 6)과 같다.

안테나 시험은 기계적 지원 장비를 통해, 반사판과 피드어셈블리 구성품을 중합화 및 기계적 정렬을 실시하며, 정렬로 안테나 빔 포인팅 정확도와 안테나 빔 간 상호작용(X-pol. isolation 등)의 최적화를 유지한다. 안테나 성능 측정 시험은 두 단계로 나뉘어 실시하였으며, 1단계는 안테나 NFR 시험이며, 2단계는 위성체 형상을 고려한 안테나 CATR 시험이다. 2단계 측정을 위한, 콤팩트 레인지(CATR) 시험 목적은 안테나 서비스 빔 커버리지 포인팅 정확도와 다중 빔



(그림 6) 위성 조립 시험 절차



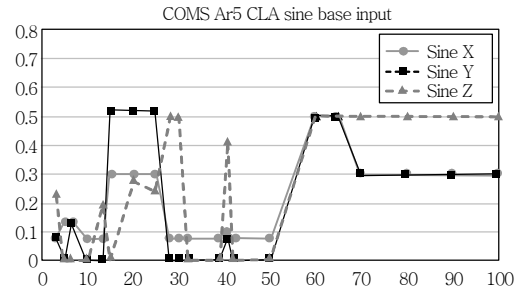
(그림 7) 안테나 CATR 시험 형상과 측정된 빔 패턴

안테나의 빔 간 상호작용(cross polarization isolation 등) 성능 검증이며, 시험은 세계 상용 위성 안테나 CATR 시험 경험과 검증 시설을 보유한 MDA Canada에서 공동 수행하였다[5]. (그림 7)은 CATR 시험 형상과 측정된 빔 형상을 보여준다.

안테나는 위성의 동서 패널에 각각 부착되며, 정밀한 정렬 측정 장비를 이용하여 지구 지향 각도를 엄밀히 조정하게 된다. 안테나 뒷면은 태양 및 심우주의 복사열 전달을 방지하기 위해 다층 단열재(MLI)로 둘러싸게 되며, 안테나 반사판은 위성에 부착된 뒤, 우주에서 원활히 전개되는지를 사전에 지상에서 전개 시험을 통하여 검증하게 된다.

마. 우주환경 시험

진동 시험은 위성체의 발사 기간 동안 위성체 및 구성품들이 설계 규격에 요구되는 진동 환경 조건에서 견딜 수 있는지를 검증하기 위한 것으로, 위성체는 진동 가진기(shaker) 위에 설치되고 위성체와 구성품의 각 부분 주요 지점에 가속도계를 부착하여 진동 모드와 공진 주파수 등을 3축에 대해 측정한다. 진동 시험 수준은 (그림 8)과 같다. 측정된 진동 시험 데이터는 FEM 해석 결과와 비교 검토를 거쳐 시스템의 안정성 여부를 판정하게 된다. 모든 측정 데이터 검토 결과, 통해기 위성체와 구성품은 진동 시험에 대해 충분한 여유 마진이 있음을 확인하였다. 또, 진동 시험 전·후에 낮은 수준 진동 시험(low level survey)을



(그림 8) 천리안 위성 진동시험 수준

실시하여 진동 시험 수준을 재검토하고 진동 시험 동안 위성체나 구성품의 이상 유무를 진단하게 된다. 통해기 위성체에 대한 진동 시험 전·후의 낮은 수준 진동 시험 비교 결과, 두 그래프의 차이가 5% 이내로 만족하여 진동 시험 동안 구조물이나 구성품의 이상이 없음을 확인하였다.

열진공 시험의 목적은 크게 두 가지이다. 첫 번째 목적은 위성체의 열 제어 장치 설계가 제대로 되었는지 확인하는 것이다. 위성체에는 위성에 탑재된 여러 가지 탑재체가 일정한 온도 범위 내에서 작동하도록 열을 발산하고 흡수하는 여러 가지 열 제어 장치들이 있는데, 이러한 장치들이 우주 환경에서 당초 설계한 대로 제대로 작동하는지 확인하는 작업이 필요하다. 이러한 시험을 Thermal Balance(TB) 시험이라고 한다. 두 번째 목적은 탑재체가 설계한 온도 범위에서 성능을 제대로 발휘하는지 확인하는 것이다. 이러한 시험을 Thermal Vacuum(TV) 시험이라고 한다. 천리안 위성의 탑재체들은 각 부품 단위에서 열진공 시험을 마쳤고 위성에 조립된 후에 국내 최대의 열진공 시설을 보유하고 있는 KARI에서 실시되었다. 열진공 시험을 통하여 우주 환경의 온도 변화에서 천리안 통신탑재체가 안정적인 성능을 내고 있음을 확인하였다. (그림 9)는 열진공 시험을 위하여 열진공 챔버에 들어가는 천리안 위성의 모습을 보여준다.

EMI/EMC compatibility 시험은 정상 동작 중인 위성체와 탑재체 간에 간섭이 얼마나 있는지 그리고



(그림 9) 천리안 위성 열진공시험 준비

정상 동작 중인 탑재체 간에 간섭이 얼마나 있는지 확인하는 시험이다. 이 시험은 큰 EMC 챔버가 있는 프랑스 Toulouse에 위치한 Intespace사에서 진행되었다. 통신탑재체는 내역에서 -65dBc 의 spurious 규격을 가지고 있는데, 위성체와 다른 탑재체로부터 받는 간섭이 -65dBc 이하임을 확인하여 영향이 거의 없음을 확인하였으며, 또한 통신탑재체가 타른 탑재체에 미치는 영향도 거의 없는 것을 확인하였다. 또한 분석 결과, 예상되었던 55차 PIM 신호도 나타나지 않음을 확인하였다.

바. 통신탑재체 궤도내 시험

천리안 위성은 2010년 6월 27일(한국시간) 남미 기아나에 위치한 Ariane Space 발사기지인 Kourou에서 Ariane-5 발사체에 실려서 성공적으로 발사되었다. 발사 후 5일 시점에서 태양 전지판, 통신 안테나가 성공적으로 전개되었으며, 6일 시점에서 Ka-band 비컨 송신기가 작동하여 지상 안테나가 천리안 위성을 지향할 수 있게 되었다. 통신탑재체에 대한 궤도 내 시험(IOT)이 7월 초순부터 8월 말까지 진행되었다.

통신탑재체의 IOT는 크게 두 부분으로 나뉜다. 하나는 안테나 패턴 측정이며, 다른 하나는 중계기의 RF 성능 측정이다. IOT 중에 안테나의 패턴을 측정

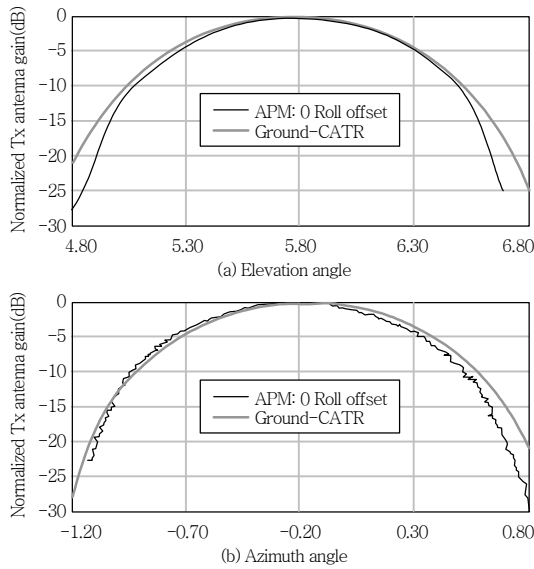
하는 이유는 발사 중에 발생하는 발사체 진동으로 인하여 안테나가 손상되지 않고 본래의 성능을 내는지 확인하고, 또한 위성의 안테나가 정확히 지상에서 조립한 지점을 지향하고 있는지 확인하는 것이다. 안테나 패턴을 측정하려면 위성이 회전해야 하며, 지상에서는 위성이 회전하는 동안에 시험 신호를 위성으로 송신하고 수신해야 한다. 안테나 패턴 측정을 위하여 천리안 위성은 동서, 남북 십자 방향으로 ± 1 도 범위로 회전하였으며, 회전 속도는 분당 0.2도이다. 안테나의 송/수신 패턴 측정을 위하여 중계기 채널앰프는 FGM, ALC 모드에서 남한, 북한, 중국빔 각각에 대하여 각각 측정되었다.

중계기의 RF 성능을 측정하는 이유는 중계기가 위성 발사 중에 파손되지 않았는지, 또한 일부 부품이 열화되어 RF 성능이 저하되지 않았는지 확인하는데 있다. IOT에서 측정한 중계기 파라미터는 다음과 같다.

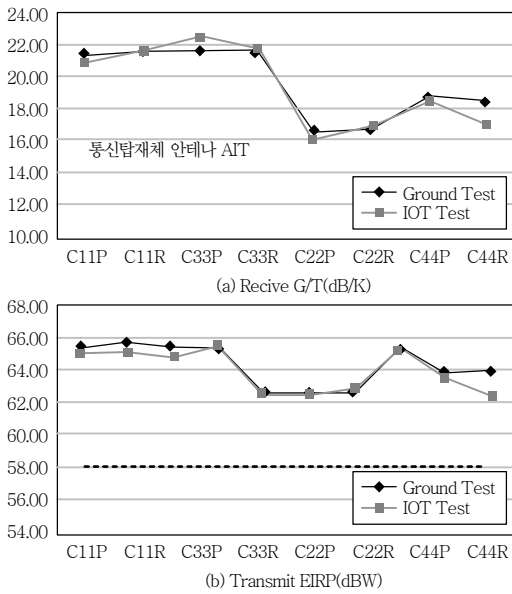
- 포화 입력/포화 출력 특성(입출력 전달 특성)
- 주파수 vs. 진폭 응답 특성
- 주파수 변환 특성
- 안테나 G/T
- 채널 앰프 FMG 특성
- 채널 앰프 ALC 특성

(그림 10)은 남한빔에 대한 Ka 대역 탑재체의 송신 안테나 패턴 컷을 방위각 방향, 양각 방향으로 측정한 결과를 지상 측정 결과와 비교한 그래프이다. 각 안테나 패턴 측정 결과, 빔 센터 규격 대비 측정치의 어긋남 정도는 측정 오차 범위에 있으므로 추가적인 안테나 보정은 없었다.

안테나 패턴 측정 후, 각 중계기 채널에 대한 RF 성능을 측정하고 지상 시험 결과와 비교함으로써 위성 발사 후 우주상에서 Ka 대역 탑재체의 건강 상태를 확인하고 성능의 이상 유무를 점검하였다. 탑재체



(그림 10) 남한반도 안테나 송신패턴 측정결과



(그림 11) 통신탑재체 EIRP, G/T 측정결과

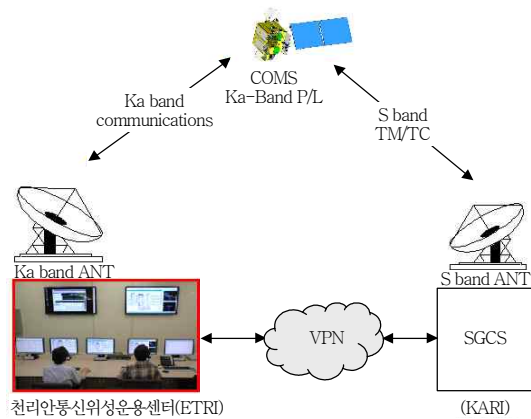
3개 채널의 총 10개 경로에 대한 RF 성능을 측정하여 지상 시험 결과와 비교 결과, 지상 시험 결과와 유사한 성능을 보이고 우주 환경에서 정상 동작함을 알 수 있다. 각 경로별 측정값에 대한 수신 G/T와 송신 EIRP를 정리하면 (그림 11)과 같다. 결론적으로 Ka 대역 탑재체의 IOT 측정은 성공적으로 이루어졌고,

Ka 대역 탑재체의 모든 채널 상태는 정상이며, 향후 다양한 통신 방송 서비스의 제공이 가능하다.

2. 천리안 위성통신시스템 활용

가. 운영 센터 현황

천리안 통신위성의 체계적이고 효율적인 운영을 위해, 한국전자통신연구원 내에 천리안 통신위성 운영 센터를 설치하였다. 운영 장비는 통신 위성 상태 감시 및 제어를 위한 TMC 시스템과 통신 위성 채널의 방송 통신 서비스 신호 감시를 위한 CSM 시스템으로 구성되었으며, 운영 센터는 위성 수명 동안 상시 운용된다. TMC 시스템은 천리안 위성관제소(한국항공우주연구원 소재)와 VPN 망으로 연결되어, 천리안 통신위성과 S 대역 신호로 직접 통신하는 한국항공우주연구원으로부터 위성 상태 감시 데이터를 수집하고 제어 명령 데이터를 전송해준다. CSM 시스템은 천리안 통신위성으로부터 직접 수신한 Ka 대역 신호의 적합성을 감시한다. (그림 12)는 천리안 통신 위성 운영센터의 구성을 보여준다.



(그림 12) 천리안 통신위성 운영센터 구성

나. 향후 활용 계획

Ka 대역 통신탑재체는 IOT 시험을 통해, 정지 궤

도에서 정상 동작됨이 검증됨에 따라, 위성 수명 기간 동안, 개발 목적에 적합한 방향으로 활용 예정이다. 활용 방향으로는, 위성 전송 실험용과 기술 검증(테스트베드) 지원용 및 공공 실험 서비스용 등이다.

첫째, 위성 전송 실험 목적은 신규 주파수 자원으로 멀티미디어 서비스에 적합한 Ka 대역 주파수 이용 기술 확보, 강우 전송 모델 개발 및 통신탑재체 전송 실험을 통한 성능 검증이다. 전송 실험 주요 내용은, 통신탑재체 우주 환경 성능 검증, Ka 대역 전파 환경(강우) 실험 및 강우 전송 모델링 개발 및 Ka 대역 한국형 강우 전송 모델링 국제 표준 채택이다. 추진 방법은 ETRI 주관, 국내 산·학·연 공동 실험을 계획하고 있다.

둘째, 기술 검증(테스트베드) 지원 활용 목적은 국내 산·학·연이 자체 개발한 Ka 대역 위성 방송 통신 장비의 성능 검증 지원을 통한 국내 위성 산업 경쟁력 강화 및 3D/UHD 위성 방송 시험, 광대역 위성 전송 시험을 통한 차세대 신규 서비스 창출이다. 기술 검증 주요 내용은 국산화 개발품(셋톱박스, VSAT 단말 등) 성능 검증 시험, 신규 방송 서비스(3D/UHDTV 등)의 전송 실험 및 실험 방송이다. 추진 방법은 Ka 대역 위성 방송통신기술을 국산화한 산·학·연(DVB-RCS 표준) 주관 ETRI 기술지원이다.

셋째, 공공 실험 서비스 활용 목적은 정부 및 공공 기관을 대상으로 공공 서비스 등에 활용하고자 하며, 특히 Ka 대역을 이용한 공공 재난 통신망 구축, DTV 난시청 해소 등의 공공 서비스를 제공하고자 한다. 공공 서비스 활용 주요 내용은, 재난 비상 통신 서비스, 데이터 전송 서비스, 난시청 해소 및 재난 방송 서비스 등이다. 추진 방법은 정부, 공공기관 주관으로 수행하며, 필요한 공공 서비스 요구사항은 참여 기관이 제시한다. ETRI는 기술 지원을 수행한다.

III. 천리안 위성관제시스템 개발 및 활용

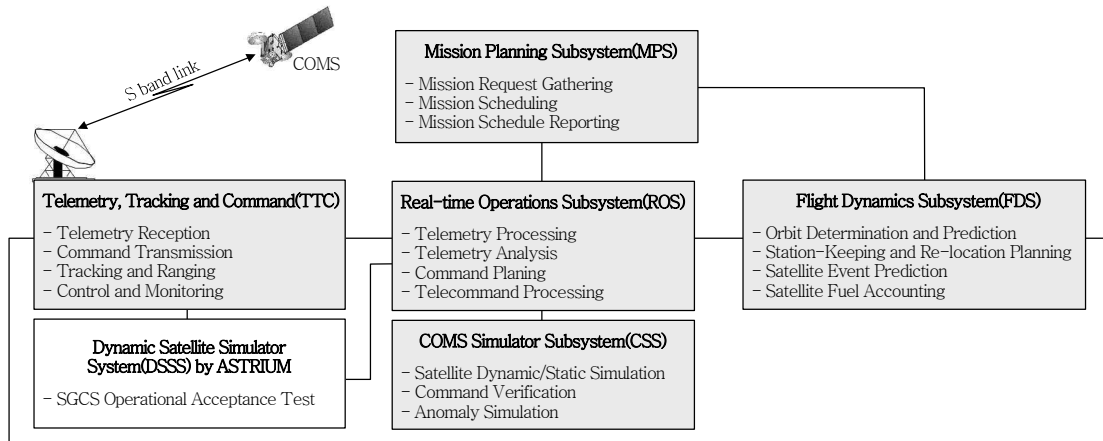
1. 천리안 위성관제시스템 개발 현황

위성관제시스템은 궤도상의 위성을 감시하고 제어할 수 있는 유일한 수단으로서 원격측정 신호의 수신 및 측정 데이터처리, 원격명령의 생성 및 명령신호 송출, 위성 추적 및 거리측정을 수행하고 관제장비의 감시 및 제어, 비행역학 데이터 처리 및 분석, 임무 스케줄링 및 리포팅, 그리고 위성 시뮬레이션을 수행한다.

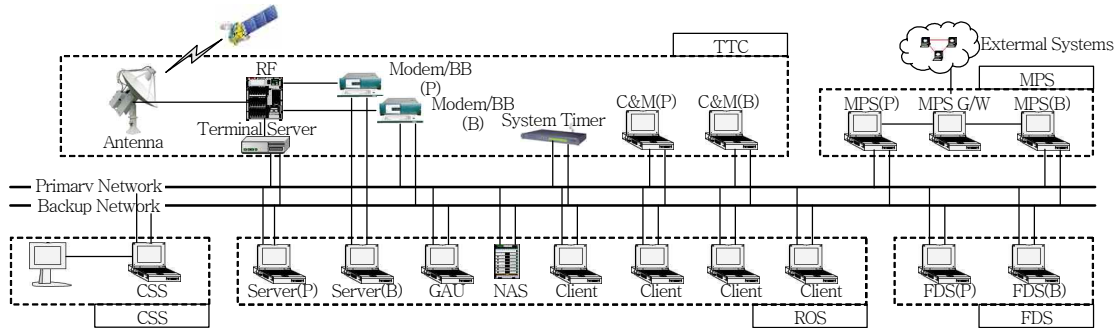
천리안 위성은 일반적인 정지궤도 통신위성과는 달리 위성통신, 해양관측, 그리고 기상관측과 같은 세 가지 임무를 수행하는 정지궤도 복합위성이다. 따라서 위성관제시스템은 천리안 위성이 세 가지 복합임무를 상호 충돌 없이 성공적으로 수행할 수 있도록 임무를 계획하고 관련된 명령을 전송해야 한다. 천리안 위성관제시스템은 국내에서 처음 개발한 정지궤도 위성용 관제시스템으로서 위성시스템의 개발 기간과 동일하게 2003년부터 개발을 시작하여 2010년 6월까지 요구사항 분석, 개념설계, 예비설계, 상세설계, 서브시스템 제작, 서브시스템 시험, 인터페이스 시험, 시스템 종합화 및 시험, 위성과의 정합시험, 위성과의 중단시험의 모든 과정을 성공적으로 수행하였다. 그리고 2010년 6월 27일 위성이 발사된 이후 동경 128.2°에 위치하고 있는 천리안 위성에 대한 관제를 성공적으로 수행하고 있다.

(그림 13)은 천리안 위성관제시스템을 구성하는 5개의 서브시스템과 Astrium에서 공급한 시뮬레이터를 보여준다[6]. Astrium의 시뮬레이터는 천리안 위성관제시스템의 기술시험 및 운용시험 단계에서 위성을 대신하여 사용되었다.

천리안 위성관제시스템은 프랑스의 EADS Astrium사의 Eurostar 3000 버스의 관제를 위해 요구



(그림 13) 천리안 위성관제시스템 서브시스템 구성



(그림 14) 천리안 위성관제시스템 하드웨어 구성

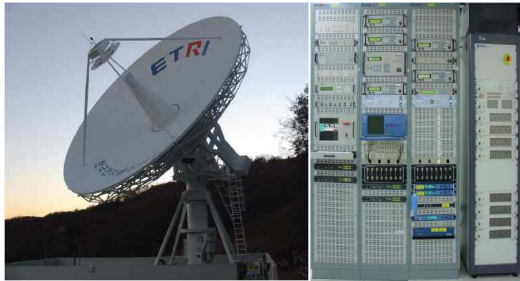
되는 특수기능과 통신, 해양, 기상 탑재체를 복합적으로 운용하기 위한 특수기능으로 인해서 일반적인 정지궤도 통신위성 관제시스템과는 다른 기능들이 추가로 구현되었다. 이와 같은 특수기능은 실시간 운영 서브시스템, 임무계획 서브시스템, 그리고 비행역학 서브시스템의 설계에 직접적인 영향을 주었다[7].

천리안 관제시스템을 구성하는 하드웨어는 13미터 파라볼라 안테나가 포함된 S 대역 통신장비와 위성을 감시하고 제어하기 위한 컴퓨터 장비로 이루어진다. 관제시스템 소프트웨어는 서브시스템을 구성하는 기능별로 개발되어 15대 이상의 컴퓨터에 설치된다. 관제시스템은 24시간 365일 계속 가동되어야 하기 때문에 각 서브시스템의 주요 장비들은 이중화하여 시스템의 가용도를 높였다[8]. (그림 14)는 천

리안 관제시스템의 하드웨어 구성을 보여준다. 관제시스템을 구성하는 컴퓨터 소프트웨어의 설계는 객체지향설계 방식으로 수행하였으며[9] 이에 대한 구현은 마이크로소프트사의 닷넷(.NET) 환경에서 C# 언어로 구현하였다. 따라서 관제시스템의 모든 컴퓨터는 인텔 계열의 프로세서를 사용하며 운영체제는 마이크로소프트사의 윈도우 XP 또는 윈도우 서버를 사용하였다.

이와 같은 정지궤도 위성관제시스템의 국산화 기술개발로 국내에서 상업용으로 발주하는 정지궤도 통신, 방송 위성들에 대한 관제시스템도 제작하여 공급할 수 있는 기술력을 갖추었다.

천리안 위성신호의 추적, 원격측정 신호수신, 그리고 원격명령의 송신을 위해서 13미터 파라볼라 안테



(그림 15) 천리안 위성 관제안테나 장비



(그림 16) 천리안 위성 관제센터

나를 개발하여 (그림 15)와 같이 KARI에 설치하였다.

(그림 16)은 KARI에 있는 천리안 위성 관제실을 보여준다. 천리안 위성관제시스템은 ETRI의 통신위성 운영센터, 한국해양연구원의 해양위성 운영센터, 그리고 국가기상위성센터와 연결되어 위성의 관제운영과 관련된 데이터를 주고받을 수 있도록 구성되었다.

2. 천리안 위성관제시스템의 운용

천리안 위성은 2010년 6월 27일 남미 프랑스령 기아나 발사장에서 아리안 5 로켓에 의해서 발사되었다. 위성이 발사체와 분리된 후 지구정지 천이궤도에 투입된 직후에 위성이 우리나라 상공을 통과할 때부터 천리안 위성관제시스템을 이용하여 위성의 원격측정 신호를 수신하고 이를 처리하여 위성이 정상적으로 작동하고 있음을 확인하였다. 천리안 위성의 천이궤도 운용은 위성의 제작사인 프랑스 툴루즈에 위치한 아스트리움사의 Multi-Mission Satellite

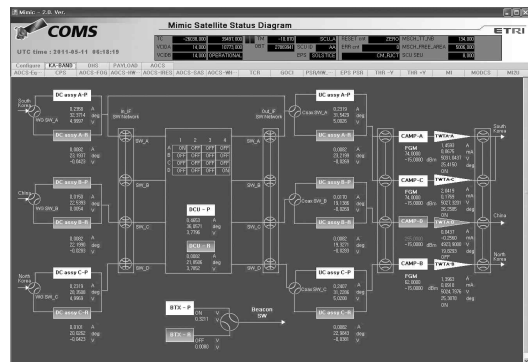
Control Center(MMSC)에서 담당하였으며 2010년 7월 5일 천리안 위성이 동경 128.2°의 정지궤도에 위치한 이후부터는 천리안 위성관제시스템을 이용하여 위성의 관제를 수행하고 있다.

가. 천리안 위성의 원격측정기능 운용

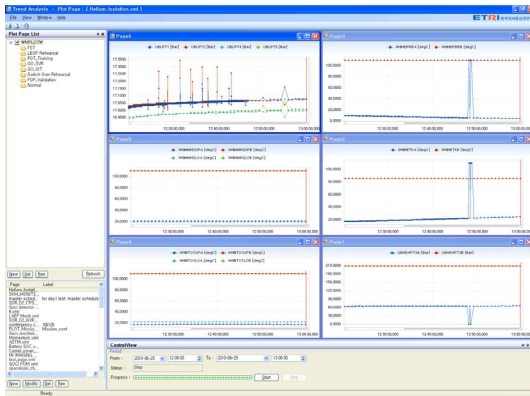
원격측정 데이터는 통신해양기상위성으로부터 2048bps의 전송률로 전송되어, Modem/BB를 통해 ROS 서버로 수신된다. 수신된 원격측정 프레임은 유효성 검사를 거치며, 유효성 검사를 통과한 원격측정 프레임에 대해서 각 데이터 필드별 데이터 추출 작업 및 데이터의 상태 확인 작업이 수행된다. 추출된 원격측정 데이터들은 다양한 디스플레이 기능을 통해 화면에 표시된다.

원격측정 데이터의 디스플레이는 알파뉴메릭 디스플레이, 그래피칼 디스플레이, 덤프 모니터링, 알람 디스플레이, 미믹 디스플레이, FDIR 모니터링, GOCI 슬롯 모니터링이 있다.

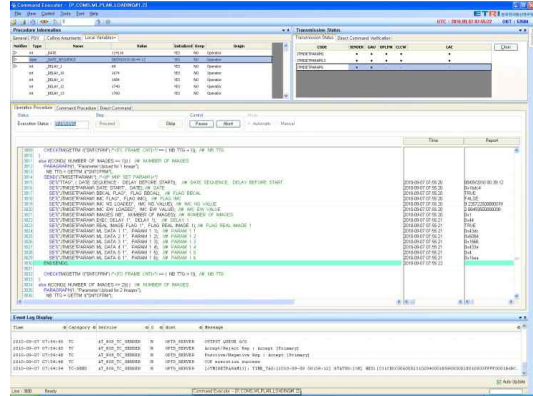
(그림 17)은 Ka 대역 통신탑재체의 원격측정 데이터의 상태를 파악하기 위한 미믹 디스플레이 화면이다. 흰색으로 표시된 블록이 현재 ON 상태로 운용되고 있는 부품들이다. 미믹 디스플레이에는 위성의 기능 또는 서브시스템별로 화면을 제공하여 한눈에 위성 상태를 파악하기 쉽게 그래픽으로 구성한 화면을



(그림 17) Ka 대역 통신탑재체 미믹 디스플레이



(그림 18) 원격측정 데이터 트렌드 분석



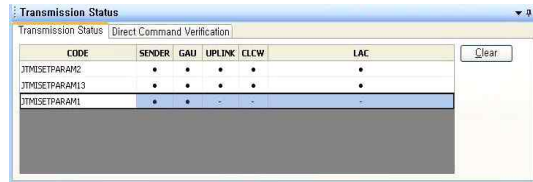
(그림 19) 원격명령 전송 윈도우

제공한다.

원격측정 데이터의 분석은 스토리지에 저장된 원시 텔레메트리를 이용해 특정 기간 동안 텔레메트리가 어떻게 변화했는지를 분석해 볼 수 있는 기능이다. 원격측정 데이터 추출 기능인 TM export 기능은 원하는 원격측정에 대한 원시값과 공학치를 엑셀 파일의 형식으로 추출해 준다. 각각의 데이터에는 시각정보가 있어서 언제 생성된 데이터인지 함께 확인할 수 있다. 추출된 파일을 이용해 엑셀 등과 같은 외부 분석 툴을 통해 다양하게 분석해 볼 수 있기 때문에 매우 유용한 기능이라 할 수 있다. (그림 18)은 천리안 위성이 정지궤도로 진입하기 위해서 원지점 엔진을 분사할 때의 추력기에 관련된 텔레메트리에 대한 트렌드를 표시한 것이다.

나. 천리안 위성의 원격명령기능 운용

통신해양기상위성은 필요한 위성운용 상황에 맞게 미리 작성된 일종의 스크립트 프로그램인 위성운용절차서(FOP)를 기반으로 제어된다. (그림 19)는 기상탐재체의 임무를 위한 위성운용절차를 명령으로 송신하는 것으로서 각 명령이 차례로 위성으로 송신된다. 천리안 위성의 위성명령은 해당되는 원격명령을 위한 원격측정값이 정상인지를 확인하고 명령을



(그림 20) 원격명령 상태 윈도우

송출할 수 있는 기능을 가지고 있다.

원격명령의 전송결과는 FOP 실행과정을 통해서도 확인할 수 있지만, 원격명령의 실행 결과만을 별도로 모아 표시하는 (그림 20)의 Transmission Status 라는 윈도우를 통해서도 확인할 수 있다. 원격명령의 전송은 (그림 20)과 같이 전송 방식의 설정에 따라 SENDER, GAU, UPLINK, CLCW, LAC와 같이 여러 단계에 걸쳐서 검증이 이뤄진다.

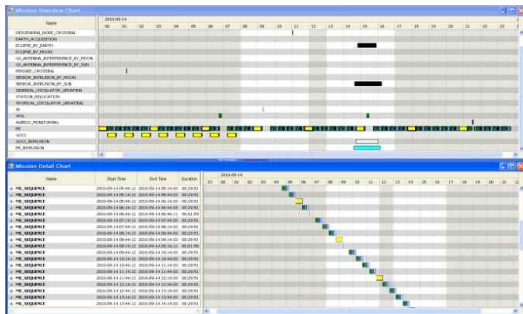
다. 천리안 위성의 임무 스케줄링

천리안 위성이 통신, 해양, 기상 3가지 임무를 정상적으로 수행하기 위해서는 위성 관제소에서는 임무 스케줄링을 계획한다. 위성의 임무는 통신탐재체에 대해서는 ETRI의 통신위성 운용센터, 해양관측을 위한 임무요구는 해양위성 운용센터, 그리고 기상관측을 위한 임무요구는 국가기상위성센터로부터 수집된다.

수집된 탐재체의 임무요구는 관제시스템의 비행

KST		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
UTC		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DAY 45 2010-08-24 화요일 TUE	SK												NS												
	WOL																								
	Space Look						W											W							E
	MI	MI_NOM(w/LA-K, NEW ALBEDO), Moon 1																							
GOCI		GOCI NOM																							
KST		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
UTC		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DAY 46 2010-08-25 수요일 WED	SK																								
	WOL																								
	Space Look						W						E					W							E
	MI	MI_NOM(w/LA-K, NEW ALBEDO)																							
GOCI		GOCI NOM																							
KST		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
UTC		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DAY 47 2010-08-26 목요일 THU	SK																								
	WOL																								
	Space Look							W					E					W							E
	MI	MI_NOM(w/LA-K, NEW ALBEDO)																							
GOCI		GOCI NOM																							

(그림 21) 천리안 위성의 주요 임무계획



(그림 22) 임무 스케줄을 표시하는 겐트차트

역학의 궤도 이벤트 예측과 합해져서 상호 충돌이 없는 임무 타임라인으로 만들어져서 이것이 위성으로 송신할 명령으로 변환된다.

(그림 21)은 3일간의 임무계획을 보여주는데 여기에는 화요일의 남북방향 궤도유지조정, 목요일은 동서방향 궤도유지조정, 그리고 하루에 두 번씩의 훔 오프로딩, 24시간 운용되는 기상탐재체 운용, 오전에 운용되는 해양탐재체 운용이 포함되어 있다[10]. Space Look은 기상탐재체의 보정을 위해서 태양이 없는 쪽 방향을 향하도록 수행된다.

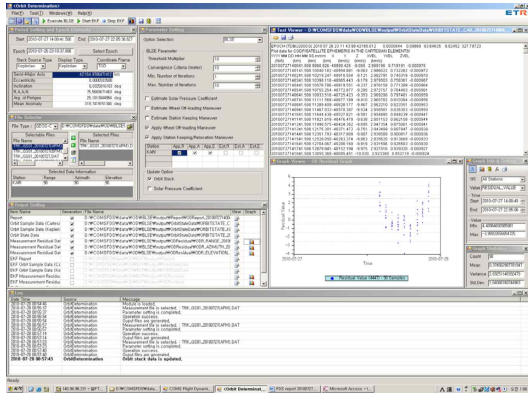
(그림 22)는 임무 스케줄을 표시하는 겐트차트이다. 위쪽은 비행역학 이벤트 및 탐재체 운용을 보여준다. 비행역학 이벤트로는 지구에 의한 식현상, 태양에

의한 지구센서, 기상 영상기, 해양 영상기의 간섭현상이 포함된다. 아래쪽 겐트차트에는 남북방향 위치유지 조정, 기상영상 미션, 해양영상 미션이 포함되어 있다. 완성된 임무 스케줄은 ROS에 보내서 명령계획 및 전송에 사용된다.

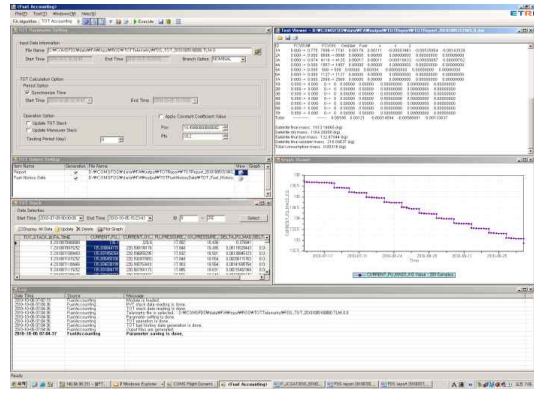
라. 천리안 위성의 궤도결정

천리안 위성의 궤도결정을 위한 거리측정 및 안테나 각 측정은 대전에 있는 TTC 안테나를 이용하여 수행된다. 정지궤도 위성의 궤도결정을 위해서는 하루에 약 8번 정도의 위성추적 데이터가 사용된다. 천리안 위성의 궤도는 위성의 위치를 파악하여 기상 및 해양 영상처리를 위해서 사용되며 또한 천리안 위성이 동경 $128.2^{\circ} \pm 0.05^{\circ}$ 이내에 있는지를 확인하고 예측하여 위치유지 조정을 수행할 수 있는 입력자료로 사용된다.

(그림 23)은 비행역학의 궤도결정 기능을 보여준다. 위성의 궤도는 추적 데이터에 대한 가중 최소자승법을 이용하여 결정되며 외부 안테나의 데이터를 이용하여 우리 안테나의 방위각에 대한 바이어스를 추정할 수 있는 기능이 있다[11].



(그림 23) 천리안 위성의 궤도결정

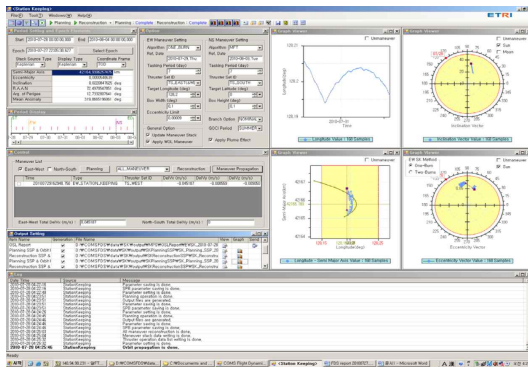


(그림 25) 천리안 위성의 연료량 산출

마. 천리안 위성의 위치유지

천리안 위성을 동경 $128.2^{\circ} \pm 0.05^{\circ}$ 이내로 유지시키기 위해서 위성의 추력기를 사용하여 매주 화요일에 남북방향 그리고 목요일에 동서방향 궤도유지 조정을 수행하고 있다. 위성의 위치유지 조정에 대한 계획은 천리안 위성관제시스템의 비행역학 서브시스템에 있는 ‘위치유지조정’ 기능을 이용 한다[12].

(그림 24)는 2010년 7월 29일에 수행한 동서방향 위치유지에 대한 궤도조정계획을 보여준다. 그림에서 위성의 경도는 128.2° 를 중심으로 $\pm 0.01^{\circ}$ 내에 위치하고 있으며 위성의 궤도장반경 역시 기준커브에 위치한다. 위성의 경사각 벡터는 1사분면 내에 위치하고 있으며 위성의 이심률 벡터는 태양방향 쪽으로 이동하고 있다.



(그림 24) 천리안 위성의 위치유지 조정

천리안 위성이 추력기를 사용하는 위치유지조정 및 휠 오프로딩을 수행했을 때 사용한 위성의 연료량의 산출을 위해서 해당되는 원격측정 데이터를 처리한다. (그림 25)는 2010년 10월 5일에 수행한 휠 오프로딩에 있어서 연료량을 산출하는 윈도우를 보여준다[10]. 사용한 연료 및 산화제의 계산된 값이 오른쪽 윗부분에 표시되고 지금까지 연료량의 시간변화가 오른쪽 아랫부분에 계단형 그림으로 나타난다.

IV. 결론

지금까지 2010년 6월 27일에 발사되어 동경 128.2° 에서 운용되고 있는 천리안 위성의 위성통신을 위한 Ka 대역 통신탑재체 그리고 천리안 위성을 지상에서 감시하고 제어하기 위한 관제시스템의 개발 및 활용에 대해서 기술하였다. 천리안 위성의 통신탑재체는 부품부터 시스템까지 개발의 전 과정을 국내 기술진에 의해 순수 국산개발 하였으며 이를 통해 세계 10위권의 통신탑재체 자체 개발국이 되었다. 정지궤도 위성인 천리안 위성의 관제시스템을 국내 기술로 개발하여 운용함으로써 우리나라는 아리랑 위성과 같은 저궤도 위성과 정지궤도 위성에 대한 관제시스템을 모두 자체적으로 개발하고 운용할 수 있는 능력을 갖추었다. 이와 같은 통신탑재체와 관제시스

템의 국내기술 개발을 바탕으로 향후 차세대 위성통신을 위한 통신탑재체 개발 및 관제시스템 개발의 기술 경쟁력 확보에 더욱 힘써야 하겠다.

● 용 어 해 설 ●

천리안 위성: 국내 최초의 정지궤도 복합위성으로 통신탑재체는 ETRI가 개발하였고, 위성체 및 기상탑재체와 해양탑재체는 프랑스 EADS Astrium사와 공동으로 항공우주연구원이 개발하였으며 기상연구소, 해양연구소가 함께 참여하였다. 2010년 6월에 성공적으로 발사되어 현재까지 기상, 해양관측 및 위성통신의 임무를 무사히 수행중이다.

관제시스템: 천리안 위성을 지상에서 감시하고 제어하는 시스템으로 ETRI에서 독자적으로 개발하여 현재 항공우주연구원에 설치되어 운영 중이다.

PIM	Passive Inter Modulation
RF	Radio Frequency
ROS	Realtime Operations Subsystem
UHD	Ultra-High Definition
URD	User Requirement Document
VSAT	Very Small Aperture Terminal

참 고 문 헌

- [1] S.P. Lee, "Development of Satellite Communication System for COMS," *Proceedings of APSCC 2004*, pp. 71-96.
- [2] J.H. Lee, J.H. Kim, S.P. Lee, and H.J. Lee, "Multi-beam Satellite Antenna Design," *IEEE International Symposium on Antenna and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Session 84, July 2004.
- [3] J.S. Choi, Y.D. Lee, and S.P. Lee, "Development of Ka Band Multibeam Antenna," *13th Ka and Broadband Communications Conference*, K000 055, 2007.
- [4] J.H. Jo, H.J. Woo, and S.P. Lee, "The Design and Implementation of Electrical Ground Support Equipment(EGSE) for COMS Ka Band Transponder Testing," *26th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC)*, AIAA 2008-5436, June 2008.
- [5] J.S. Choi, Y.D. Lee, and S.P. Lee, "CATR Test for Ka Band Multi-beam Antenna," *26th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC)*, AIAA 2008-551, June 2008.
- [6] B.-S. Lee, W.C. Jung, J. Lee, S. Lee, Y. Hwang, I. J. Kim, S. Lee, T. Kim, S. Jeong, and J. Kim, "Development of the Satellite Ground Control System for Multi-mission Geostationary Satellite COMS," *Space Ops 2010*, Huntsville, Alabama, AIAA 2010-2381, Apr. 25-30, 2010.
- [7] 이병선, 김인준, 이수전, 황유라, 정원찬, 김재훈, "통신해양기상위성을 위한 관제시스템의 특수기능 구현," *위성통신과 우주산업*, 제17권 제1호, 2010년 6월, pp. 64-81.
- [8] I. Joo, J.-H. Lee, and J. Kim, "Operational Availability Analysis of Satellite Ground Control Sys-

약어 정리

ALC	Automatic Level Control
CATR	Compact Antenna Test Range
CLCW	Command Link Control Word
CSM	Communication Satellite Monitoring
DVB-RCS	Digital Video Broadcasting-Return Channel Satellite
EADS	European Aerospace and Defense System
EIRP	Effective Isotropic Radiation Power
EMC	Electro Magnetic Compatibility
EMI	Electro Magnetic Interference
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute
FEM	Finite Elements Method
FGM	Fixed Gain Mode
FM	Flight Model
FOP	Flight Operation Procedure
G/T	Gain over Temperature
GAU	Ground Authentication Unit
GOCI	Geostationary Ocean Color Imager
IOT	In-Orbit Test
KARI	Korea Aerospace Research Institute
MDA	MacDonald, Dettwiler and Associates
MLI	Muiti Layer Insulator
MMSC	Multi-Mission Satellite Control
NFR	Near Field Range

- tem for COMS,” *24th AIAA International Communications Satellite Systems Conference*, AIAA-2006-5428, 2006.
- [9] R. Pooley and P. Stevens, *Using UML-Software Engineering with Objects and Components*, Harlow, Addison-Wesley, 1999.
- [10] B.-S. Lee, I.J. Kim, S. Lee, Y. Hwang, W.C. Jung, J. Kim, H.-Y. Kim, H.-H. Lee, S.-C. Lee, Y.-M. Cho, and B.-Y. Kim, “Operational Validation of the COMS Satellite Ground Control System during the First Three Months of In-Orbit Test Operations,” *JC-SAT 2010*, Oct. 28-29, 2010, pp. 197-204.
- [11] Y. Hwang, B.-S. Lee, H.-Y. Kim, H. Kim, and J. Kim, “Orbit Determination Accuracy Improvement for Geostationary Satellite with Single Station Antenna Tracking Data,” *ETRI J.*, vol. 30, 2008, pp. 774-782.
- [12] B.-S. Lee, Y. Hwang, H.-Y. Kim, and S. Park, “East-West Station-Keeping Maneuver Strategy for COMS Satellite Using Iterative Process,” *Advances in Space Research*, vol. 47, 2011, pp. 149-159.