

무궁화 위성 시스템의 개요

황보 한
한국통신 위성 사업 본부

김 성 규
한국항공우주연구소

1. 서 론

1995년 8월 5일 오후 8시 10분, 통신과 방송을 위한 복합위성인 무궁화호가 미국 플로리다주 케이프커내버럴의 LC-17 발사대로부터 델타II ELV-7925 발사체에 의하여 발사되었다. 마침내 우리나라도 본격적인 우주 시대를 열게 된 것이다. 이제 무궁화 위성은 동경 116도, 고도 36,000km 적도 상공에서 향후 10년간 우리 국민과 희로애락을 함께 할 대한민국의 식구가 되었다. 물론 1992년 8월 11일에 발사된 우리별 1호가 대한민국 국적의 최초 위성이라 하겠지만 위성체 자체의 무게 652kg (Dry weight), 발사 직전 무게(Launch weight) 1.5톤의 중형급 상용 위성인 무궁화 위성은 우리나라도 명실공히 선진국에 버금할 위성 보유국으로서 국민적 자긍심을 향상시키고 향후 국내 위성 산업의 이정표를 제공할 것이다.

언젠가는 고갈될 유한의 우주 자원과 전파 자원을 선점하기 위하여 각국이 첨예한 신경전을 벌이고 있는 이때에 위성통신과 같은 우주산업은 어쩌면 우리가 취할 수 있는 마지막 선택일 수도 있다. 본 소고에서는 무궁화 위성의 발사를 계기로 무궁화 위성 사업의 전반적인 개요, 위성의 제원과 특성, 파급 효과 등에 대하여 알아보고 향후 위성 산업을 전망하고자 한다.

2. 본 론

결론부터 말하면 1990년부터 시작한 무궁화 위성 사업은 단순한 위성 구매 사업의 차원이 아닌 우리나라 위성 관련 기술을 한차원 높이는 견인차 역할을 하였다. 그리고 무궁화 위성은 지금도 우리나라 적도 상공에서 일본 (BS series), 홍콩 (Asiasat)의 위성들이 밤낮을 가리지 않고 쏘아 대는 전파 홍수와 문화 침투 속에 우리 것을 지키는 첨병 역할을 할 것이다.

수십만개의 부품으로 구성되는 인공위성은 단순한 부품의 제작 및 위성체 조립 사업이 아니라 최첨단 시스템 엔지니어링 기술이 그 핵심이라 하겠다. 비록 외국 회사가 만들고 외국 회사가 위성의 발사를 대행했지만 위성 산업은 초기에 대규모 투자가 필요하고 외국으로부터 기술 전수 없이는 시작이 불가능할 정도로 복잡하고 철저한 기술 장벽으로 둘러 쌓여 있다. 무궁화 위성 사업에서도 이점을 충분히 간파하고 사업 기간동안 가능한 많은 분야에서 기술 습득과 우리 것으로 소화하기 위하여 부단한 노력이 수반되었다. 무궁화 위성의 본체 구조물과 태양 전지판 구조물 등 국내에서 제작된 부분의 무게도 약 103 kg으로 위성 전체 무게의 약 16%나 된다.

무궁화 위성 사업과 인공위성 시스템 엔지니어링

위의 설명을 이해하고 무궁화 위성 사업 전반에 대하여 알기 위해서는 인공위성을 이용한 우주 시스템 (Space System)에 대한 이해가 있어야 한다. (그림 1)과 (그림 2)에 한 우주 시스템에 필요한 주요 구성 요소를 그림과 도표로 간략히 도시해 보았다. 무궁화 위성과 연계하여 설명한다면 다음과 같다. 우선 (그림 1)의 Mission concept (임무 개념)은 우주 시스템의 존재 이유를 단적으로 정의하며 사업의 최종 목표이기도 하다. 즉 무궁화 위성 시스템의 존재 이유는 **한반도에 하루 24시간, 1년 365일 방송과 통신 서비스를 제공하기 위한 가장 저렴하고 합리적인 수단으로 여겨지기 때문이다.** 그 외 무궁화 위성을 활용한 이용 예는 간단히 (그림 2)에 도시했다.

다음의 문제는 이러한 시스템을 어떻게 구성할 것인가이다. 먼저 인공위성(Space Segment)이 필요할 것이며 그 위성을 우주공간 필요한 위치에 안착시켜 줄 발사체(Launch Segment), 위성을 효율적으로 운용하기 위한 지상 시설(Ground Segment)이 필요할 것이다. 마지막으로 일반 사용자가 위성 시스템을 사용하기 위하여 갖추어야 할 시설이나 기구 (User Segment)가 필요할 것이다. (그림 3)에 보인 바와 같이 무궁화 위성 시스템의 경우 동경 116도 적도 상공에 2기의 정지 위성과, 미국 델타 II 로켓, 용인과 대덕 2곳에 지상 관제소, 그리고 일반 가정의 위성 자료 수신 설비나 지구국으로 구성된다. 물론 이러한 Segment도 이하 소시스템과 서브시스템으로 구성되어 있다. 우주 시스템 엔지니어링의 핵심은 이러한 구성 요소들을 한치의 오차도 없이 동시 다발적으로 제작 또는 구매하여 최종 임무 개념을 충족하는 시스템으로 완성하는 과정에 필요한 모든 기술, 경영, Know-how를 일컫는다.

무궁화 위성 사업의 두 가지 목적은 양질의 대형 위성 시스템을 획득하고 이 과정에서 가능한 많은 분야의 기술을 습득하여 차세대 위성의 독자 개발을 위한 기반 조성에 있다. 이같은 목적 달성을 위하여 미국과 영국의 관련 회사에 현지 기술 전수 요원을 상주시켜 기술을 습득케하고 국내 업체들의 적극적 참여를 유도하였으며, 한편 국내에서는 별도의 R&D 프로그램을 도출하여 관련 연구소에 적극적으로 지원했다. <그림 4>에 무궁화 위성 사업의 추진 체계와 참여 연구소 및 업체의 역할을 정리해 보았다.

무궁화 위성의 구성, 계원 및 특성(Space Segment)

이제까지 거시적 입장에서 무궁화 위성 사업과 우주 시스템의 특성에 대하여 간단히 알아보았다. 본 절에서는 좀 더 구체적으로 무궁화 위성 자체의 계원과 특성 그리고 지상 관제 시설에 대하여 알아보기로 한다. <표 1>에 무궁화 위성의 서브시스템에 대하여 그 기능과 특성을 간략히 정리했으며 (그림 5)는 무궁화 위성의 전개도를 나타낸다.

위성(Satellite)은 통상적으로 탑재체(Payload)와 위성체(BUS)로 구성된다. 먼저 무궁화 위성의 탑재체는 방송과 통신이라는 두 가지 목적을 위하여 일반 통신 위성 보다 더 복잡한 구성을 하고 있는 데, 14/12 GHz(Ku band) 상/하향 주파수를 사용한 대역폭 27 MHz, 출력 120W의 방송중계기(DBS: Direct Broadcasting Service) 3채널, 대역폭 36 MHz, 출력 14W의 통신중계기(FSS: Fixed Satellite Service) 12채널을 구비하고 있다. 이같은 탑재체는 (그림 2)에 도시된 바와 같이 직접위성방송, 고속/저속 데이터 통신, 비디오 중계, 국간 중계, 도서 벽지 난시청 해소 및 행정 통신 등 다양한 서비스를 제공하게 된다. 이같은 무궁화 위성에 의한 방송/통신 서비스는 단일 문화권 형성에 이바지하고 외국의 위성 방송에 의한 문화적 침투에 적극 대처할 수 있는 수단을 제공하게 된다.

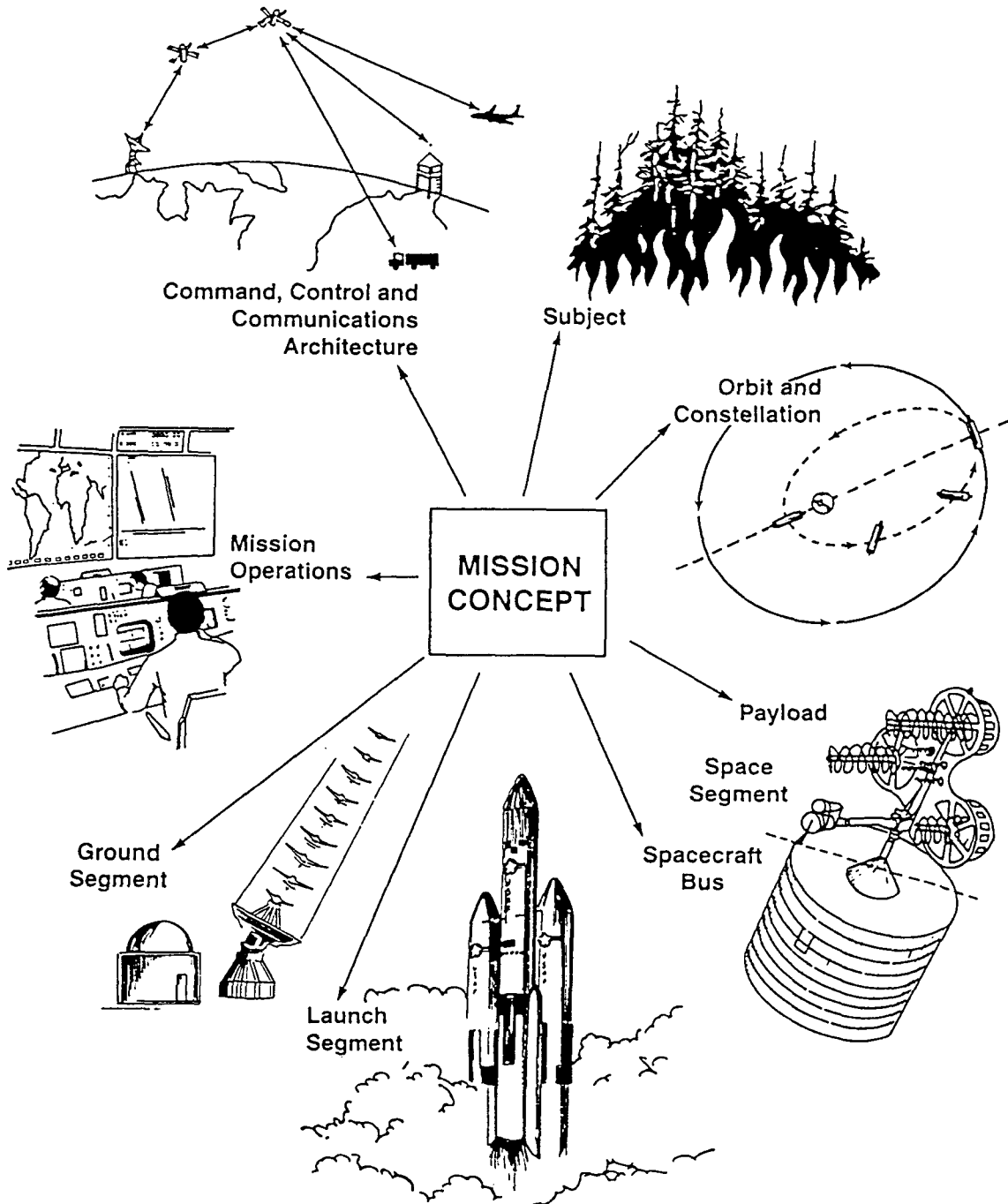


그림 1. 우주 시스템의 일반적인 구성

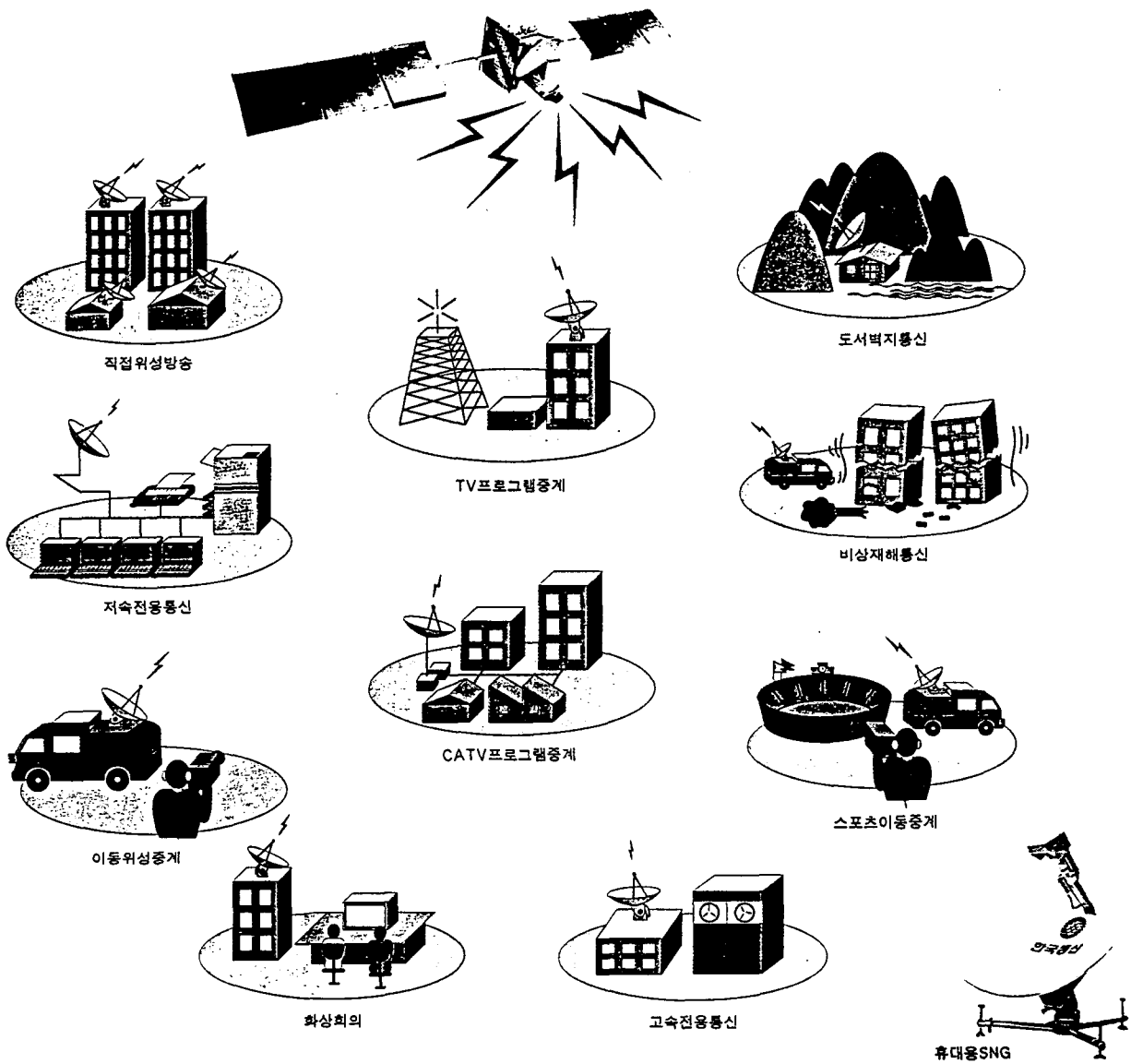


그림 2. 무궁화위성 서비스 가능 분야

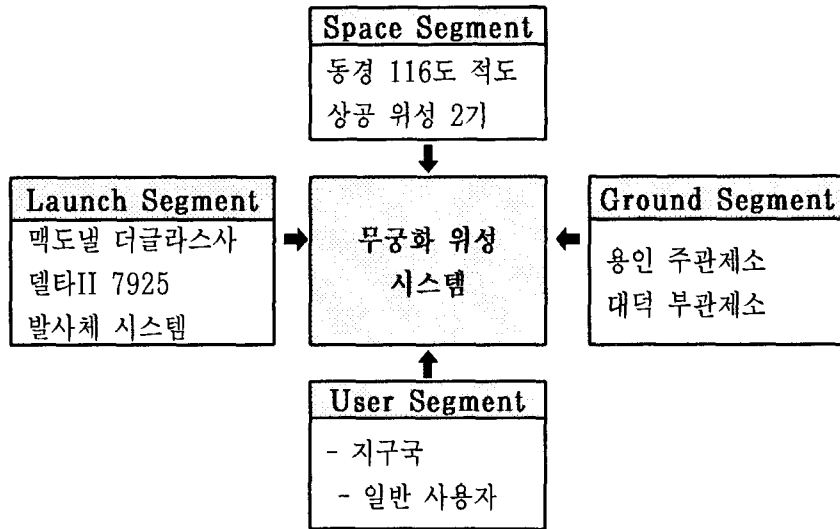


그림 3. 무궁화위성 시스템의 구성

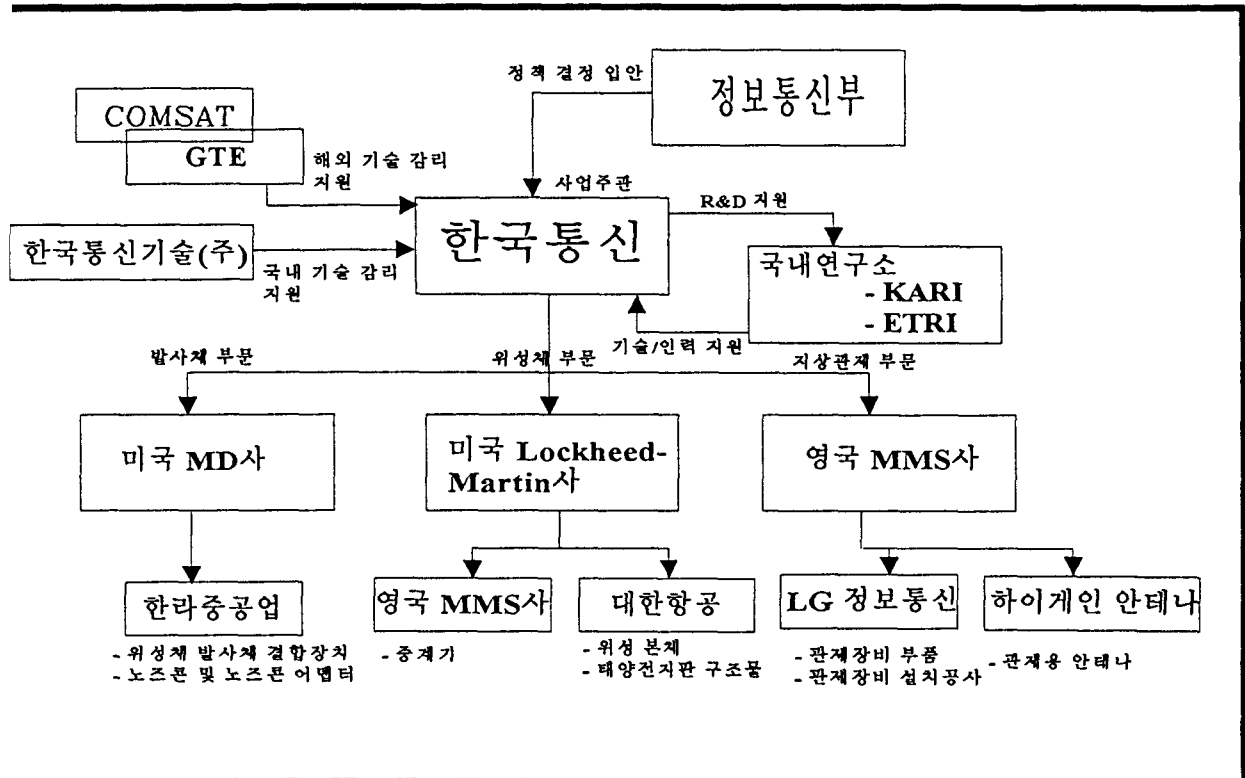


그림 4. 무궁화 위성 사업 추진 체계 및 역할

표 1. 무궁화 위성 및 서브시스템의 제원 및 특성

시 스템	- 궤 도 : 동경 116° , 적도 상공 36,000km 정지궤도 - 탑재체 : 방송 증계기 3대, 통신증계기 12대 - 무 계 : 발사무게 1459kg, 본체무게 635kg - 발사체 : 델타 II 7925		
탑재체	Operational Frequency Uplink : 14.0 GHz, Downlink : 12.0 GHz Transponders Fixed Service : Twelve 14-Watt, 36-MHz TWTAs Direct Broadcast : Three 120-Watt, 27-MHz TWTAs Coverage : Republic of Korea Antenna : Fixed, Gregorian Type Edge-of-Coverage EIRP Fixed Service : 50.2 dBW, Direct Broadcast : 59.4 dBW		
BUS	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width:20%;">서브시스템</th> <th style="width:80%;">특 성</th> </tr> </table>	서브시스템	특 성
	서브시스템	특 성	
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">전 력 계</td> <td style="width:80%;"> Design Approach : 35.5 Volt Direct Energy Transfer Solar Array : Independent North/South Arrays with Three Panels Each; Total Area of 16m² Array Drive : Independent, Single-axis Rotation Energy Storage : Two 42.5 Ampere-hour Batteries with Independent Redundant Chargers End-of-Life Power : 1533 to 1708 Watts </td> </tr> </table>	전 력 계	Design Approach : 35.5 Volt Direct Energy Transfer Solar Array : Independent North/South Arrays with Three Panels Each; Total Area of 16m ² Array Drive : Independent, Single-axis Rotation Energy Storage : Two 42.5 Ampere-hour Batteries with Independent Redundant Chargers End-of-Life Power : 1533 to 1708 Watts
	전 력 계	Design Approach : 35.5 Volt Direct Energy Transfer Solar Array : Independent North/South Arrays with Three Panels Each; Total Area of 16m ² Array Drive : Independent, Single-axis Rotation Energy Storage : Two 42.5 Ampere-hour Batteries with Independent Redundant Chargers End-of-Life Power : 1533 to 1708 Watts	
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">자세제어계</td> <td style="width:80%;"> Transfer Orbit Control : Spin Stabilized On-orbit Control : Three-axis Momentum Bias system with Magnetic Torquer and Thrusters Antenna Pointing Accuracy : ±0.1° </td> </tr> </table>	자세제어계	Transfer Orbit Control : Spin Stabilized On-orbit Control : Three-axis Momentum Bias system with Magnetic Torquer and Thrusters Antenna Pointing Accuracy : ±0.1°
	자세제어계	Transfer Orbit Control : Spin Stabilized On-orbit Control : Three-axis Momentum Bias system with Magnetic Torquer and Thrusters Antenna Pointing Accuracy : ±0.1°	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">원격측정명령계</td> <td style="width:80%;"> Command Frequency : 14-GHz Band Command Format : FM Subcarrier, Digital Coding, Selectable Command Telemetry Frequency : 12-GHz Band Telemetry Format : Selectable PCM/FM Subcarrier; Phase Modulated Carrier </td> </tr> </table>	원격측정명령계	Command Frequency : 14-GHz Band Command Format : FM Subcarrier, Digital Coding, Selectable Command Telemetry Frequency : 12-GHz Band Telemetry Format : Selectable PCM/FM Subcarrier; Phase Modulated Carrier	
원격측정명령계	Command Frequency : 14-GHz Band Command Format : FM Subcarrier, Digital Coding, Selectable Command Telemetry Frequency : 12-GHz Band Telemetry Format : Selectable PCM/FM Subcarrier; Phase Modulated Carrier		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">열 / 구조계</td> <td style="width:80%;"> Thermal Design Approach : Passive Surface with Heaters and Heat Pipes Structure Design Approach : Center Cylinder Assembly with Five Side Panels, a Base Panel and an Earth Panel Bus Size : 174 cm × 163 cm × 142 cm </td> </tr> </table>	열 / 구조계	Thermal Design Approach : Passive Surface with Heaters and Heat Pipes Structure Design Approach : Center Cylinder Assembly with Five Side Panels, a Base Panel and an Earth Panel Bus Size : 174 cm × 163 cm × 142 cm	
열 / 구조계	Thermal Design Approach : Passive Surface with Heaters and Heat Pipes Structure Design Approach : Center Cylinder Assembly with Five Side Panels, a Base Panel and an Earth Panel Bus Size : 174 cm × 163 cm × 142 cm		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:20%;">추진계</td> <td style="width:80%;"> Design Approach : Redundant Blowdown Hydrazine System Orbit Injection : Solid Propellant Apogee Kick Motor Operational Control : 12 Catalytic Hydrazine Engines for Attitude and Orbit Control ; 4 Electrothermal Hydrazine Thrusters for North/South Stationkeeping Propellant Capacity : 201.7 kg </td> </tr> </table>	추진계	Design Approach : Redundant Blowdown Hydrazine System Orbit Injection : Solid Propellant Apogee Kick Motor Operational Control : 12 Catalytic Hydrazine Engines for Attitude and Orbit Control ; 4 Electrothermal Hydrazine Thrusters for North/South Stationkeeping Propellant Capacity : 201.7 kg	
추진계	Design Approach : Redundant Blowdown Hydrazine System Orbit Injection : Solid Propellant Apogee Kick Motor Operational Control : 12 Catalytic Hydrazine Engines for Attitude and Orbit Control ; 4 Electrothermal Hydrazine Thrusters for North/South Stationkeeping Propellant Capacity : 201.7 kg		

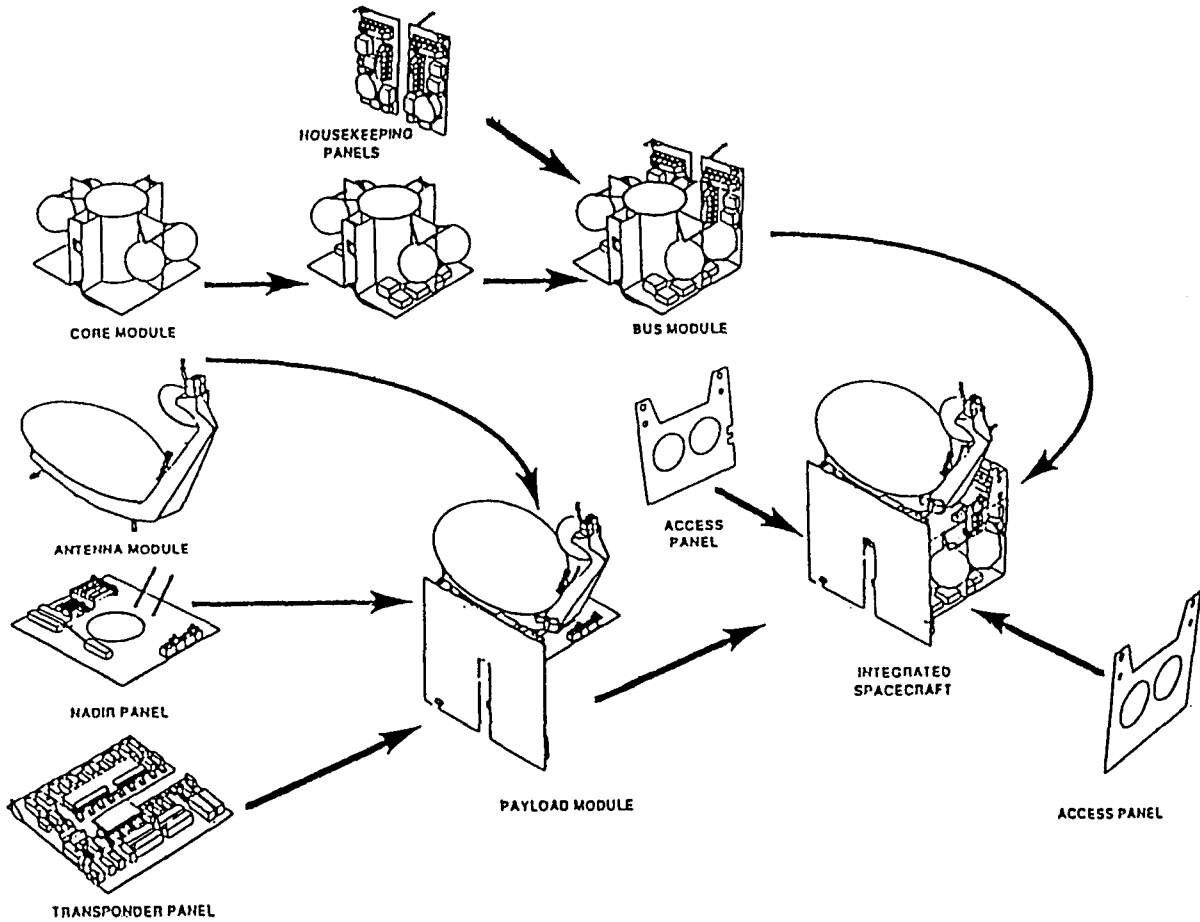


그림 5. 무궁화 위성의 전개도

탑재체의 원활한 작동 환경을 제공하고 지상 관제소와의 교신을 가능케 하는 역할을 BUS가 수행하고 있다. BUS는 기능상 전력계, 자세제어계, 원격/측정 명령계, 열제어계, 구조계, 추진계 등 6가지의 서브시스템으로 구성된다. 먼저 전력계는 태양에너지를 전기에너지로 변환하여 탑재체와 여타 BUS 서브시스템에 전력을 공급한다. 이를 위하여 전력계는 전력을 생성하는 태양전지, 생성된 전력을 조절하는 전력전자공급장치(PSE), 조절된 전력을 배터리에 충전하는 충전기(BCR), 그리고 위성이 지구의 그림자에 가려지게 되는 일식(Eclipse)기간동안 탑재체 및 기타 서브시스템에 공급할 전력을 저장하는 니켈-수소(NiH₂) 배터리로 구성된다.

자세 제어계는 위성에 부착된 안테나가 빔 중심점인 전북 무주를 향하도록 위성의 현자세를 감지하고 필요시 자세조정 작동기를 구동하기 위한 명령을 발생하는 기능을 갖는다. 또한 위성의 궤도내 위치를 동경 116° ± 0.05°, 남북위 ± 0.05°의 소위 Station-keeping box내에 위치시키는 기능을 한다. 자세제어계 작동 모드는 발사 후 전이궤도와 예정된 위치에 도달한 후 정상궤도 모드로 크게 구분되는 데 고장 발생시 지상에서 원격 명령에 의해 위성의 자세를 조정할 수 있게끔 되어 있다. 자세 감지 장치로 지구수평센서(HSA), 태양센서(SSA), 자이로(RGA)가 있으며 자세조정 작동기로 추력

기(EHT, REA), 자기장 막대(MT), 모멘텀 휠(MWA)과 모멘텀 휠 피봇을 사용한다. 위와 같은 감지기와 작동기는 자세처리장치(APE)에 의해 제어된다.

원격측정 명령계는 위성의 상태를 나타내는 여러 가지 센서데이터들을 지상으로 송신하는 원격 측정부와 지상으로부터 위성의 제어에 필요한 명령을 받아 명령을 수행하는 명령부로 이루어져 있다. 지상과 위성간의 원격측정 명령계의 데이터들을 전송을 위해서는 필요한 데이터를 서브캐리어에 실은 baseband 처리 과정과 상·하향 링크 캐리어에 실어서 전송을 하는 RF band 처리 과정을 동시에 거쳐야 한다. 무궁화호의 원격측정부는 약 500여가지의 아날로그 및 디지털 데이터를 수집하고 포맷팅을 하는 4 가지의 서브블럭으로 구성되어 있다. 데이터들은 대부분 위성 내부의 온도, 전력 상태 그리고 각종 릴레이 상태에 관한 것으로 지상국에서 위성의 상태를 관측하고 제어하는 데 필요한 자료로 사용하기 위하여 1024bps의 전송 속도로 지상에 전송된다. 명령부의 기능은 약 300여가지 명령 신호를 지상국으로부터 수신하여 위성의 릴레이, Pyro, BCR, 센서들을 동작시킨다. 무궁화 위성에서 사용된 원격측정 명령계의 특성은 모두 hard-wired 구조로 되어 있어 매우 안정되고 견실한 동작을 보장한다.

다음은 열제어계와 구조계에 대하여 간단히 언급하고자 한다. 위성은 지상의 발사체 Fairing 내부 환경으로부터 고도 36,000 km의 우주공간에 이르기까지 다양한 환경에 처하게 한다. 다시 말하면 상온·상압 뿐만 아니라 극저온·초저압을 극복해야 하며 발사 도중에는 추방향과 횡방향으로 지구 중력가속도 6배 이상의 관성력을 견디어야 최종 목적 즉, 위성 고유의 서비스를 개시할 수 있다. 열제어계와 구조계는 탑재체와 BUS 서브시스템 주요 부품을 위하여 적당한 작동 환경을 유지하고 위성체의 뼈대를 이룬다. 무궁화 위성의 열제어계는 히터와 히트파이프와 같은 능동 부품과 코팅, 열차단막, 방열판 등의 수동 부품으로 되어 있으며 구조계는 142×174×196cm의 Box형으로 동·서·남·북 판넬과 탑재체를 위한 패넬로 되어 있다.

끝으로 추진계는 위성이 발사체로부터 분리되어 전이궤도에서 정지궤도로 진입시 사용되는 아포지 모터와 정상궤도에서 위성의 자세와 위치 제어를 사용하는 소형 추력기인 4개의 EHT와 12개의 REA로 구성되어 있다. 그리고 이들 추력기가 사용하는 추진제와 추진제의 공급 통로를 이루는 배관과 밸브, 추진제 저장을 위한 연료 탱크도 추진제의 일부로 간주된다. 아포지 모터는 미국 Thiokol사의 Star30E로 단일고체연료를 사용하며 추력기의 추진제로 하이드라진 액체 연료와 연료 가압 가스로 헬륨가스를 이용한다.

무궁화 위성의 운용 및 지상 관제소(Ground Segment)

위성의 설계, 제작 및 시험에 통상 4년 내지 5년이 소요된다. 그러나 위성이 우주 공간상의 예정된 위치에서 본래의 주어진 임무를 성실히 수행하여 우리에게 유용한 정보를 제공할 때 비로소 생명력을 갖게 된다. 그렇지 못하면 위성은 뉴턴과 케플러의 궤도운동 법칙에 따라 우주공간을 떠도는 고철 덩어리에 불과하다. 이처럼 위성의 생명력을 유지하여 위성의 효율 가치를 극대화하는 곳이 바로 지상관제소이다. 이하 참고문헌[2]에 제시된 내용을 요약하여 지상관제소를 구성하는 시설, 하드웨어, 소프트웨어에 대하여 간단히 알아보자.

무궁화위성 지상관제소는 용인(동경 127.25°, 북위 37.20°)의 주관제소와 대덕(동경 127.36°, 북위 36.38°)의 부관제소로 구성된다. 지상관제소는 기능에 따라 지상과 위성체간의 쌍방향 교신 역할을 담당하는 위성제어센터(SCC: Satellite Control Center)와 위성 송수신 추적·명령소(TT&C: Telemetry, Tracking and Command), 탑재체와 일반 사용자(또는 지국국)간의 감시 및

제어 역할을 담당하는 망제어센터(NCC: Network Control Center), 그리고 정상궤도상 위성체와 탑재체의 정상 작동 여부를 확인하기 위한 궤도내 시험과 위성 서비스 개시 후 탑재체 성능 감시를 담당하는 궤도내시험/망감시(IOT/CSM: In-Orbit Test / Communication System Monitoring) 서브시스템으로 분류된다.

지상관제소 서브시스템이 동일 건물 내에 위치하거나 분산 배치될 수 있으나 무궁화 위성의 경우 전자의 방법을 채택하고 있다. 주·부 관제소간, 각 서브시스템간의 교신은 WAN과 LAN을 통한 컴퓨터 통신 네트워크가 완벽히 구비되어 있다. (그림 6)은 무궁화 위성 지상관제소의 구성을 나타낸다. 용인 주관제소에는 TT&C(TTC1), SCC, NCC, IOT/CSM이 있으며 대덕 부관제소에는 TT&C(TTC2), SCC, CSM 등이 구비되어 있다. 일반적으로 위성의 오작동이나 고장시 또는 SCC와 NCC 간의 이해 상충시 SCC가 우선권을 갖으며, 부관제소는 주관제소의 비상시에 대비한 예비적 성격을 갖으나 전이궤도상의 위성 작동시 단독으로 또는 Network의 일부로 사용 가능하다. 무궁화 위성 관제소는 최대 4개의 정지궤도 위성을 제어할 수 있도록 설계되어 있어 향후 위성의 추가 배치에 대비하고 있다.

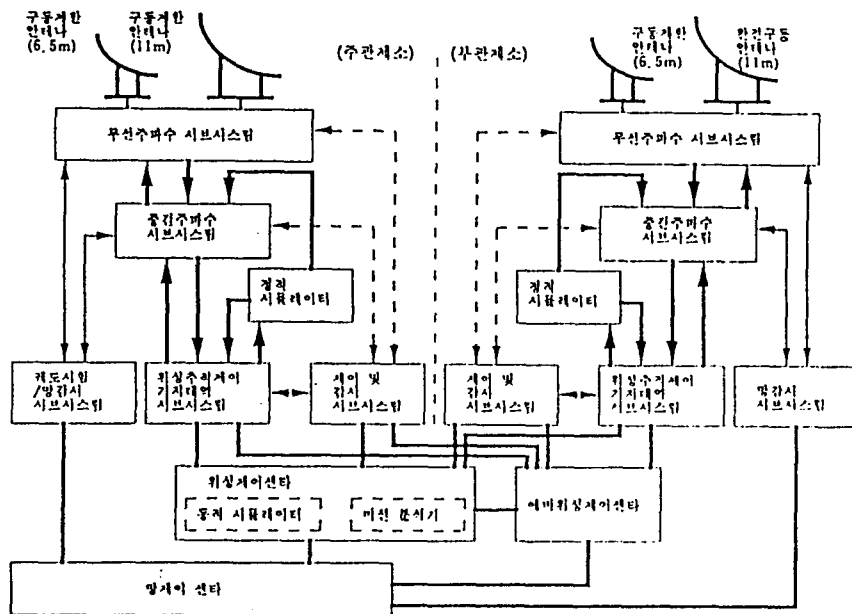


그림 6. 무궁화 위성 지상 관제소의 구성

TT&C는 위성과 데이터 송수신을 수행하는 통로로 각종 신호의 주파수 변경 및 확인을 위하여 안테나, RF(Radio Frequency), IF/BB(Intermediate Frequency/ Baseband), CR&T(Command, Ranging and Telemetry), SSS(Static Spacecraft Simulator), C&M(Command and Monitoring) 등의 H/W와 지원 S/W로 구성된다. 이에 대한 상세한 내용은 참고문헌[]에 제시되어 있다. SCC와 NCC는 H/W면에서 상대적으로 간단하여 몇대의 Workstation과 운용자용 콘솔로 구성되나 지상관제의 핵심 소프트웨어를 탑재하고 있다. SCC를 구성하는 S/W로 위성 운용과 직접 관련하여 RTS(Real Time Software), WDS(Workstation Display Software), DSS(Dynamic Spacecraft Simulator), MAS(Mission Analysis Software) 등이 있으며 참고로 (그림 7)은 MAS의 구성으로 그 기능을 유추할 수 있을 것이다.

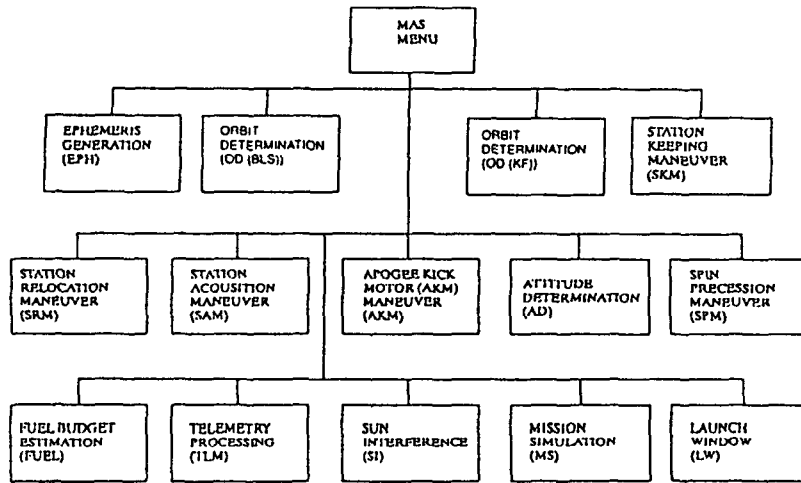


그림 7. 무궁화 위성 MAS 소프트웨어의 구성도

3. 결론

본 소고에서는 금번 무궁화 위성 발사를 계기로 우주 위성 시스템에 관한 개론과 위성 시스템의 구성 요소에 대하여 무궁화 위성을 위주로 알아보았다. 비록 제 3국에 의해 제작되고 발사된 위성이지만 본격적인 상용위성의 보유와 운용은 전국민의 문화패턴에 지대한 영향을 끼칠 것으로 예상되며 5년간의 제작 과정에 우리 기술진과 기업이 습득한 위성 관련 기술은 향후 우리 우주 산업의 초석이 될 것이다.

세계는 문자 그대로 무한 경쟁 시대에 진입한 지 오래다. 과연 무엇을 향한 경쟁일 것인가? 우주 산업과 기술은 21세기 여러 국가의 희망을 가름하는 잣대가 될 것은 분명하다. 이웃 일본의 경우 30년간의 지속적인 투자와 인내가 오늘날 구미 선진국에 버금가는 우주 선진국으로 발돋움케 하였다. 전세계의 각 개인들을 간단한 휴대폰과 단말기로 연결하겠다는 Project-21, Globalstar나 Iridium 사업은 차근차근 현실화되고 있다. 미국의 GPS는 우리 실생활 깊숙이 파고들어 왔다. 우리가 무엇을

할 바 모르는 사이 우리는 우주·정보 산업의 선진국과 외국 거대 기업의 고객이 되어 가고 있다.

비록 출발은 늦었지만 최근 착수한 다목적 실용위성 개발 사업이나 우리별 3호와 같은 일련의 대형 프로젝트, 그리고 정부의 우주 분야에 대한 깊은 관심과 지원은 매우 시기 적절하다는 생각을 하며 본 소고를 마치고자 한다.

참 고 문 헌

1. 김홍모, 무궁화위성사업 현황 및 향후전망, 한국통신학회지 12(6), 1995
2. 김명석, 무궁화위성 지상관제 시스템과 운용 소프트웨어, 한국통신학회지 12(6), 1995
3. 조광래 외, 무궁화위성 발사체 시스템, 한국통신학회지 12(6), 1995
4. _____, Commercial Delta II Payload Planners Guide, MDC H3224B, Changed December 1989.