



# 상용 통신위성 위성체 버스 기술개발 현황

최성호·김성중 / 한국통신

## I. 서론

한국통신은 1995년과 1996년에 국내최초로 정지궤도에 통신/방송 복합위성인 무궁화위성 1, 2호를 발사하였다. 1호위성은 1999년 말로 임무가 거의 종료됨에 따라, 이를 대체하기 위해 무궁화위성 3호가 1999년 9월에 발사되어 현재 1, 2호위성의 서비스를 연계하여 운용 중에 있다.

현재 무궁화위성은 디지털 위성방송을 비롯하여 고속 위성인터넷, CATV 프로그램 전송, TVRO, 위성이동중계(SNG) 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 특히 3호위성에는 상용의 광대역 Ka밴드 중계기를 탑재하고 있어, 광대역 고속데이터 전송의 응용분야에 폭넓게 활용될 것으로 기대하고 있다.

본 고에서는 무궁화위성사업을 추진하면서 접하였던 위성제작에 대한 선진국의 첨단기술을 소개하고, 현재 개발중인 상용위성 시스템의 기술동향을 살펴보았다. 우선 제 II장에서는, 최근 상용 버스모델의 개발 동향인 버스모델의 표준화, 위성수명의 증가, 자동운용기능 강화, 버스

의 대용량화 등에 대해 기술하였다. 제 III장에서, II장에서 논의된 최근 버스모델 개발추세에 따라 상용위성시스템 제작에 도입되고 있는 대표적인 최신 기술들을 소개하였다. 마지막으로 제 IV장에서는, 위성 제작사별로 개발되었거나 현재 개발중인 버스모델을 소개하고 각 버스모델의 용량 및 주요 기술적 특징에 대해 비교하였다.

## II. 위성체 버스모델 개발추세

상업용 정지궤도 통신위성의 시장은 대부분 미국 및 유럽의 선진국에 점유되고 있다. 독자 버스모델을 개발하여 통신위성의 prime contractor(주계약자)로 상업용 위성시장에 참여하고 있는 주요 회사를 살펴보면, 미국의 Hughes사, Lockheed Martin사, Space System Loral사와 유럽의 Matra Marconi Space사, Alcatel Space사 등 5개사 정도이다. 이 밖에도, 이스라엘, 인도, 러시아, 중국, 일본 등도 통신위성을 개발하여 독자적인 버스모델을 보유하고 있으나,



상업용 위성시장에는 참여하지 않고 자국의 위성을 제작/발사하는 수준이다. 본 고에서는 전술한 선진 위성제작사에서 개발되고 있는 버스모델을 중심으로 관련 기술동향을 논하고자 한다.

### 1. 위성체 버스모델의 표준화

정지궤도위성 제작사들은 위성체 생산라인의 표준 버스모델 설정에 주력하고 있다. 즉, 동일한 버스모델로 다양한 탑재체를 수용할 수 있게 하였으며, 표준화를 통해 위성 제작기간을 단축하여 위성생산능력을 증대시키고 있다. 불과 1990년대 초까지만 해도 위성제작의 전 공정(설계/조립/시험)에는 3년(36개월)이상 소요되었으나, 현재에 와서는 위성제작 기간이 24~27개월 정도로 단축되었으며 향후에는 보다 더 짧은 기간 내에 위성을 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 위성 수명

위성의 수명은 실장된 연료에 따라 주로 결정되며, 태양전지의 전력생산 능력 및 중계기, 버스 부속 장비의 수명에 의해서도 크게 좌우된다. 추력기 성능향상을 통해 적은 연료를 사용해서 높은 운용운동량( $\Delta V$ )을 얻을 수 있게 되었으며, 또한, 발사체의 발사능력 향상으로 위성체의 실장가능 연료량이 증대되고 있다. 아울러, 꾸준한 기술개발을 통해 중계기 및 버스의 부속장비 신뢰도가 높아지고 있으며, 태양전지 제작기술 또한 발전되어 위성의 전력생산능력이 현저히 증대되고 있는 추세이다. 1980년대까지만 해도 위성수명은 통상 7년이었으나, 1980년대 말과 1990년대에 들어서 위성수명이 10년으로 연장되었다. 1990년대 중반부터는 위성수명이 더 증가하여 현재 운용중인 위성은

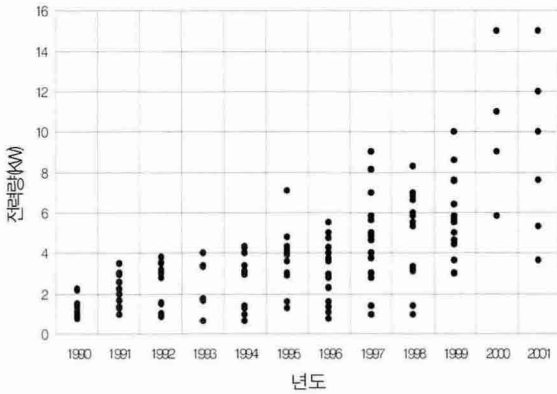
통상 12년~15년 동안 운용될 수 있다. 현재 개발되고 있는 버스모델은 모두 15년 이상의 수명을 보장하고 있다.

### 3. 자동 운용

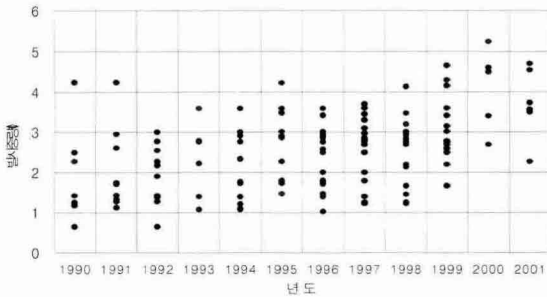
위성체 내부에 on-board computer를 탑재하여 대부분의 제어를 자동으로 운용하므로써, 종전 지상 관제소에서 역할을 대신하게 되었다. 1990년대 중반에 개발되어 1996년 첫 발사에 성공한 미국 Lockheed Martin의 A2100 모델의 경우, on-board computer에서 배터리 충전 상태의 감시 및 제어, 위성체 온도감시 및 열제어, 부품 고장감시 및 예비용으로 질체 등을 자동으로 수행할 수 있다. 아울러, 이상상태 대비 기능으로 위성이 위험상태에 놓이게 되는 경우, on-board computer의 메모리에 내장된 프로그램으로 위험상태를 감지하여 상태별로 미리 짜여진 수행절차에 따라 스스로 복구하는 기능을 가지고 있다.

### 4. 대응량화

[그림 1]과 [그림 2]는 1990년에서 2001년까지 현재 운용 중이거나 발사예정인 위성의 전력생산능력과 발사중량에 대해 년도별 변화 추이를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 위성체 소요전력이 년대별로 급격히 증가함을 알 수 있으며, 발사중량 역시 계속 증가하고 있다. 위성체 규모면에서는 소요전력의 증가, 위성체 기능강화, 수명연장 등으로 인해 무게가 증가하고 있으나, 위성체의 발사중량 증가로 인한 발사비용 부담의 제한 때문에 그 한계가 있다. 따라서, 주된 위성체 버스개발 방향은 한정된 위성체 무게, 비용의 범위 내에서, 최대한의 소요전력을 수용할 수 있도록 버스모델을 개발하는데 있다.



[그림 1] 년도별 소요전력량 추이



[그림 2] 년도별 발사중량 추이

### III. 상용위성에 적용된 최신기술

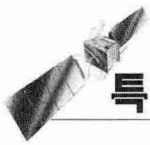
II장에서 살펴본 바와 같이, 상용위성 버스모델의 개발방향은 경제적인 측면에서 고출력, 긴 수명, 발사중량의 최소화 등에 초점을 맞추고 있다. III장에서는, 이를 위해 현재 개발된 상용 버스모델에 적용되고 있는 최신 기술들을 소개하고자 한다.

#### 1. 전력계

1990년대 들어 반도체 기술의 발달로 전력을 생산하는 태양전지의 기술개발에 상당한 진전이 있었다. 우선 고성능 silicon 태양전지가 개발되었으며, 상대적으로 효율이 높으나 제작상 어려움

이 있어 그 사용이 적었던 GaAs 태양전지의 상업적 이용이 가능하게 되었다. GaAs 태양전지는 silicon 태양전지에 비해 제작비용이 많이 들고 무게가 무거운 단점이 있으나, 전력효율이 높으며 수명말기에서도 성능저하가 훨씬 적어 GaAs를 사용하는 위성체가 늘어나는 추세이다. 이러한 반도체 기술의 발달로 고출력 위성이 가능하게 되었으며, 지구국 단말의 안테나 크기를 더욱 작게 할 수 있게 되었다.

태양전지의 생산능력 향상으로 인해 최신 버스모델의 경우 최대 10~20kW의 전력을 수명기간동안 공급할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 태양전지의 전력 생산능력이 향상됨에 따라, 2차 전원(secondary power)인 배터리에 대해서도 대용량 고효율의 성능을 요구하고 있다. 1980년대 중반까지만 해도, 정지위성의 배터리는 Nickel-Cadmium(NiCd) 배터리가 가장 보편적으로 사용되었다. 그러나 1980년대 후반부터 위성의 전력요구량 및 수명이 늘어남에 따라 효율이 높고 수명이 긴 Nickel Hydrogen(NiH<sub>2</sub>) 배터리가 널리 사용되기 시작하여, 현재 NiH<sub>2</sub> 배터리가 상용위성의 표준으로 널리 사용되고 있다. NiH<sub>2</sub> 배터리는 효율이 30Wh/Kg이상으로 NiCd 배터리(25Wh/Kg) 보다 높고 요구되는 Depth of Discharge(DoD) 또한 80%로서 NiCd 배터리(50~60%) 보다 높은 장점이 있다. 최근에 들어 전력요구량이 급격히 늘어남에 따라, 대용량의 배터리 cell이 필요하게 되었다. 이에 따라, 배터리의 무게를 줄이기 위해 보다 효율이 높은 Lithium ion 배터리(85~130Wh/Kg)를 일부 채택하고 있는 버스모델(Matra Marconi Space사의 Eurostar 3000, Alcatel Space사의 Spacebus 4000)이 생겨나고 있다. 그러나, Lithium ion 배터리는 15년 수명기간동안 요구되는 충방전 cycle에 대해 완전히 2차 전원으로서의 기술적 성능 및 신뢰도가 입증되지 않고 있다. 향후에는 NiH<sub>2</sub> 배터리보다 효율이 높



은 Lithium ion 또는 Silver-Zinc(AgZn) 배터리들이 상용위성에 보편적으로 적용될 것으로 기대된다.

아울러, power switching 반도체 소자의 기술이 발전함에 따라, 버스전압을 높일 수 있게 되었다. 버스전압을 높이고 전류량을 적게 함으로써, 전력분배에 따른 손실을 줄이고 전력분배 구성 부품들의 규모를 작게 하여 무게를 줄일 수 있게 되었다. 1990년대 초에 개발된 위성버스모델은 버스전압이 50Volts 였으나 Lockheed Martin에서 개발한 A2100은 70Volt를 버스전압으로 채택하고 있다. 최근 개발된 Hughes사의 HS 702를 비롯하여, 최신 버스모델들은 100Volts를 버스전압으로 채택하고 있다.

## 2. 고효율 추력기

정지위성의 추력기는 위성의 자세교정에 필요한 토크(Torque) 제공과, 궤도유지(Station-keeping) 및 정지궤도 진입에 필요한 추력을 제공하는 역할을 한다. 추력기는 크게 천이궤도에서 정지궤도로 진입시키기 위한 고추력의 추력기와 정지궤도상 궤도보정을 위한 저추력의 추력기로 나누어 진다. 본 고에서는 정지궤도상에 사용되는 저추력의 추력기의 최신기술동향에 대해 살펴보고자 한다.

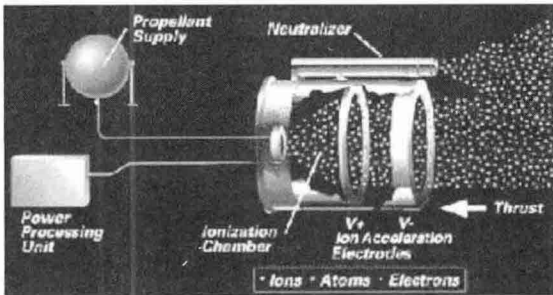
추력기의 주요한 성능 중 하나인 비추력(Isp : specific impulse)은 소요 연료량을 결정하는 요소이다. 다시말해, 비추력이 클수록 동일한 속도증분( $\Delta V$ )을 얻기 위해 필요한 연료량이 줄어든다. 따라서, 현재 추력기의 개발방향은 가능한 높은 비추력을 가져 소요연료량을 줄이는 데 있다. 추력기는 추력을 얻는 방법에 따라 화학적 추력기(chemical thruster), 전기적 추력기(electrical thruster), 이온 추력기(ion thruster)로 나눈다.

화학적 추력기는 하이드라진(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 연료에

촉매를 접촉시켜 화학 반응열과 분해된 가스를 노즐을 통해 분사시켜 추력을 얻는 것으로 비추력이 220sec 정도이다. 화학적 추력기 보다 높은 비추력을 얻기 위해 배기가스를 전기로 1000°C 이상 가열시켜 약 300sec 정도의 비추력을 얻게 된다. 이러한 전기적 추력기를 EHT (electrothermal hydrazine thruster)라 하며, EHT는 현재까지도 널리 사용되고 있는 전기적 추력기이다.

1990년대 들어 혁신적인 기술들로 인해 궤도조정용 추력기의 연료효율을 크게 향상시킬 수 있게 되었다. 그 중 하나로, 전기적 추력기의 일종인 아크제트추력기(arcjet thruster)는 전기적 아크(arc)를 이용해 하이드라진 연료를 활성화시키므로써, 비추력이 종전 EHT보다 2배에 가까운 500sec 이상을 얻게 되어 연료를 절감시킬 수 있게 되었다. 아크제트추력기는 1993년 Telstar 401위성에 처음 적용되었으며 현재 Lockheed Martin A2100모델의 표준 추력기로 이용되고 있다.

보다 획기적인 개발은 크세논(Xenon) 가스를 연료로 사용하는 이온추력기이다. 이온추력기는 추진제(Xenon)를 이온화시켜 이를 전기장안에서 가속시켜 추력을 얻게 된다. 이온추력기는 추력은 약하지만 비추력이 2,000~4,000sec 정도로 일반 추력기의 10~20배 높은 효율을 가지며, 궤도조정동안 자세교란이 적다는 장점을 가지고 있다. Hughse사에서 XIPS(Xenon Ion Propulsion System)를 개발하여 상용위성인 HS 601HP모델에 최초로 적용하였다. 1997년 PAS-5 (Panamsat 5)가 XIPS 추력기를 사용한 첫 상용위성이었으며, 최근 Hughse에서 개발된 HS702 모델에서도 용량이 큰 XIPS를 표준 추력기로 사용하고 있다. 아울러, 최근 개발중인 위성 버스모델들 (Matra Marconi사의 Europstar 3000, Alcatel Sapce Spacebus 4000)에서도 이온추력기를 채택하고 있다.



[그림 3] Hughes사의 XIPS 시스템

### 3. On-board Computer를 이용한 자동운용

최근 1990년대에 들어와 개발된 상용위성의 대부분의 버스모델들은 on-board computer를 탑재하여 위성체에서 발생하는 데이터 처리 및 제어를 자체적으로 수행하도록 버스시스템이 구성되었다. 즉, 표준화된 마이크로프로세서(Mil-Std-1750A), 데이터를 교환하기 위한 표준화된 데이터버스(Mil-Std-1553B), 대용량 메모리(PROM 및 RAM) 및 메모리에 내장된 high level language (Ada)로 짜여진 flight software 등으로 구성된다. 이러한 on-board computer 시스템은 위성체의 상태 데이터를 수집하여 필요한 명령어를 발생 자체적으로 위성을 제어하게 된다. 최근에 개발된 버스모델들은 이러한 기능들을 부과하여 정상상태에서 지상 관제소에서의 별도의 명령이 없이도 30일 이상 자동운용이 가능하다.

현재 개발된 버스모델에서의 주요한 몇 가지 자동관제기능에 대해 간략히 소개하고자 한다. 첫째, 자세제어에 있어서 위성자세를 감지하는 각종 센서로부터 데이터를 수집하고, 자세조정을 위한 모멘텀휠의 모멘텀량 및 추력기 사용량 등에 대한 복잡한 계산을 자체적으로 수행하여 자세유지가 이루어지게 한다. 둘째, 열제어에 있어서 위성체내 수백군데 설치된 온도센서의 온도데이터를 처리하여 위성의 각부분이 설정된 온도범위 내에 동작하도록 히터를 동작시킨다. 셋째, 전력 제어에 있어서 배터리의 압력, 전류, 온도 등의

데이터를 통해 배터리의 충전 상태를 감지/조정한다. 넷째, 위성체는 궤도상에서 부품의 교체가 불가능하므로 고장시 기능을 대체하기 위해 예비품(Redundancy)을 탑재하고 있다. 따라서, 부품의 상태를 항시 감시하여 고장의 발견시 예비로 교체해 주는 기능을 갖는다. 마지막으로, 이상상태 대비기능으로 위성체가 이상상태에 놓이게 되는 경우 이를 감지하여, 위험상태별로 on-board computer의 프로그램에 미리 짜여진 절차에 따라 스스로 복구하는 기능을 가지고 있다.

향후, 상용위성에서는 on-board computer 시스템과 flight software의 기술발전으로, 전술한 자동운용 기능보다 훨씬 발전된 버스모델이 개발될 것으로 기대된다.

## IV. 제작사별 버스모델 특성

III절에서 살펴본 바와 같이, 현재 상용위성의 버스 모델의 발전 추이는 시스템 사이즈가 커지고, 소요전력이 증가되고 있으며, 운용수명 또한 증가되고 있다. 제작사별 버스모델은 그 용량에 따라 구분되며, 수요자의 탑재체 규모에 따라 이를 수용할 수 있는 버스모델을 선택하여 위성을 제작하게 된다. 본 절에서는 제작사별로 개발되었거나 개발 중인 버스모델의 용량(발사무게 및 전력생산능력) 및 주요 특징에 대해 간략히 기술하고자 한다.

### 1. Lockheed Martin (A2100)

1990년대 중반에 개발완료한 A2100 버스모델 시리즈를 보유하고 있으며, 현재 대용량의 Advanced A2100 모델을 개발 중에 있다. On-board computer를 통해 자동운용을 하고, 추력기는 고효율의 아크제트추력기를 채택하고 있으며, 전원으로는 silicon 또는 GaAs 태양전지 및 NiH<sub>2</sub>



배터리를 이용하고 있다. 버스모델별 용량은 <표 1>에서 보는 바와 같다.

<표 1> Lockheed Martin사 버스 모델

버스 모델	A2100A	A2100AX	A2100AX <sup>2</sup>	Advanced A2100
전력생산량	1~6kW	6~13kW		12~22kW
발사중량	2,800kg	4,400kg	5,500kg	5,000kg이상
개발현황	운용중	운용중	운용중	개발중

## 2. Hughes (HS xxx)

상업용으로 가장 많은 시장을 확보하고 있는 위성모델이 HS계열 위성이다. 대표적인 버스모델은 1980년대 개발된 HS376과 1990년대 초에 개발된 HS601 및 최근 1999년 12월 최초로 발사성공한 HS702(Galaxy XI 위성)가 있다. Hughes 버스모델의 특징은 보다 정밀한 자세제어를 위해 RF sensing을 이용하고 있다. HS702는 고출력에 따른 열제어를 위해 deployable radiator를 채택하고 있으며, 추진계는 이온 추력기인 XIPS를 채택하고 있다. 또한 태양 빛의 효율적 이용을 위해 태양전지판에 solar array concentrator를 장착하고 있다. 주요 버스모델별 용량은 <표 2>에서 보는 바와 같다.

<표 2> Hughes사 버스 모델

버스 모델	HS 376	HS 601	HS 702
전력생산량	0.9~2kW	2~8kW	8~13.5kW
건조질량	500~900kg	1,200~1,900kg	1,600~2,300kg
개발현황	운용중	운용중	운용중

## 3. Space System Loral

Space System Loral사의 대표적인 정지궤도 위성 버스모델은 1300 GEO로서 전력생산능력이 5~15kW에 이르는 3축제어형이다. Bipropellant 추진계를 사용하며 모멘텀 바이어스로 자세제

어를 하고 있다. 전력계는 silicon 또는 GaAs 태양전지와 NiH<sub>2</sub> 배터리를 사용한다. 현재 고효율의 전력계와 추진계의 개발을 통해 1300 GEO 모델을 개선시키고 있다. 한편, 차세대 버스모델로 20.20을 2002년 개발완료로 목표로 추진 중이다. 20.20 버스 모델은 전력생산능력이 15~20kW에 이르는 대용량 모델로서, 새로이 개발된 복합재료를 사용하여 위성체 경량화를 기하고 고효율의 태양전지를 사용할 예정이다.

## 4. Matra Marconi Space (Eurostar)

Matra Marconi Space사의 정지궤도 위성 버스 모델은 Eurostar 시리즈이다. 최근 개발을 완료한 Eurostar 3000의 특징은 배터리를 NiH<sub>2</sub>배터리와 더불어 고효율의 Lithium ion배터리를 사용하고 있다. 추진계에서도 Hughes사와 유사한 고효율의 plasma, ion 추력기를 사용하며, 독특한 특징인 solar sailing개념을 이용하여 안전하고 연료를 절감하는 자세제어를 한다. 그 밖에도 정밀한 자세제어를 위해 RF sensing의 사용이 가능하다. 주요 버스모델별 용량은 <표 3>에서 보는 바와 같다.

<표 3> Matra Marconi Space사 버스 모델

버스 모델	Eurostar 2000	Eurostar 2000+	Eurostar 3000	Eurostar 3000+
전력생산량	2~4kW	4~7kW	7~16kW	20kW이상
발사중량	2,300kg	3,400kg	5,700kg	5,700kg이상
개발현황	운용중	운용중	개발완료	개발중

## 5. Alcatel Space (Spacebus)

최근 프랑스의 Alcatel사와 Aerospatiale사가 Acatel Sapce사로 합병하였다. 종전 Aerospatiale사에서 개발된 Spacebus 시리즈를 표준모델로 사용하고 있다. 현재, Sapcebus 3000 버스가 주력 모델이며 Sapcebus 4000 버스가 가까운 시일


내 개발이 완료될 예정이다. Spacebus 버스모델의 주요 특성은 배터리로 NiH<sub>2</sub> 배터리와 더불어 고효율의 Lithium ion 배터리를 사용하고 있다는 점이며, 추력계에서도 고효율의 ion 추력기를 채택할 예정이다. 이 밖에도 Spacebus 4000은 자동 운용기능을 강화하여 30일 이상 지상관제의 도움 없이 운용될 수 있다. 주요 버스모델별 용량은 <표 4>에서 보는 바와 같다.

<표 4> Alcatel Space사 버스 모델

버스 모델	Spacebus 3000A	Spacebus 3000B	Spacebus 3000B3S	Spacebus 4000
전 력 생산량	5.5kW이하	5~10kW	10~13kW	10~20kW
발 사 중 량	2,500~3,200kg	2,500~3,800kg	3,500~5,000kg	3,500~5,400kg
개 발 현 황	운용중	운용중	개발완료/ 2001년 발사예정	개발중

## V. 결 론

본 고에서는 상용 통신위성 위성체 버스의 기술동향에 대해 살펴보았다. 최근, 1990년대 접어들어 신규 대용량 버스모델의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 효율적인 버스모델 개발을 위해 새로운 첨단 기술들이 적용되고 있다. 위성체 버스개발의 발전으로 다수의 고출력 중계기 탑재가 가능해지고 있으며, 위성의 출력이 높아짐에 따라 보다 다양한 응용분야의 위성통신 서비스가 가능해 지고 있다.

무궁화위성 3호도 최신 버스 모델인 Lockheed Martin사의 A2100으로 구성하였으며, 고출력 및 광대역 중계기를 탑재하고 있어 양질의 위성통신 서비스제공이 가능하다. 아울러, 향후 발사될 통신위성은 버스기술의 발전으로 고출력 중계기 탑재가 가능하여 이를 이용한 양질의 다양한 위성통신서비스가 제공될 것으로 기대한다. 



### 최 성 호

- 한국통신 전임연구원
- csh0910@kt.co.kr



### 김 성 중

- 한국통신 위성기술팀장
- seongkim@kt.co.kr