

위성탑재체 RF 기술동향

RF Technology for Satellite Payload

차세대 전파방송기술 특집

정진철 (J.C. Jeong)

위성통신RF기술연구팀 선임연구원

염인복 (I.B. Yum)

위성통신RF기술연구팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 위성탑재체 기술
 - III. 위성탑재용 RF 부품 기술
 - IV. 결론

위성 탑재체 제조 산업은 기초 과학이 뒷받침된 초정밀 기계 공학, 첨단 전자 기술, 극한 환경 기술 및 신소재 공학 등과 같은 첨단 산업의 집합체라 할 수 있다. 현재 미국을 비롯한 서구 선진국에서 진행중인 탑재체 기술동향을 보면, 폭발적으로 증가하는 위성수에 따라 위성 궤도가 부족하고 주파수 자원이 고갈되고 있는 상황에서 통신 위성의 효율성과 성능을 향상시킬 수 있는 신호처리 탑재(OBP) 위성과 통신기능을 포함한 다양한 기능을 가진 복합위성 개발이 진행되고 있으며 주파수 대역의 포화과 광대역 멀티미디어 서비스 제공 등을 위해 보다 높은 주파수의 준 밀리미터파 대역(Ka 대역) 위성 개발이 활발히 이루어지고 있다. 국내에서는 현재, 2008년 발사를 목표로 마이크로 스위치 매트릭스(MSM)가 탑재되어 빔간 스위칭이 가능하도록 설계된 통신해양기상위성(COMS)용 통신 탑재체(SACOM) 개발이 진행중이다. 국내의 위성탑재용 RF 부품 분야는 1990년부터 위성 중계기 시스템의 기본적인 설계, 조립, 종합화, 시험기술을 바탕으로 통신위성 탑재체용 초고주파 부품을 개발하여 왔으며, 2000년대에는 Ku 대역(12/14GHz) 및 Ka 대역(20/30GHz) 기술인증모델(EQM) RF 부품을 성공적으로 개발하였다. 이를 바탕으로 통신해양기상위성 통신탑재체용 Ka 대역 RF 부품이 현재 우주 인증 모델(QM)의 개발이 완료되었으며 비행 모델(FM) 개발이 진행중이다.

I. 서론

1965년 최초의 상업용 정지궤도 위성 INTELSAT I(또는 Early Bird)의 발사로 광역성, 동보성, 망 구성의 융통성, 설치의 신속성 등의 여러 장점을 갖는 위성 통신이 본격적으로 시작되었다. 우리나라는 그보다 30여 년 뒤인 1995년 최초의 상업 통신위성인 무궁화 1호가 발사되면서 국내의 위성통신산업이 태동하게 된다. 이후 무궁화 2와 3호를 성공적으로 발사하고 운용함으로써 국내의 위성통신 산업은 비약적인 발전을 이루었다. 또한 무궁화 2호를 대체할 무궁화 5호 발사가 올해 7~8월로 예정되어 지속적인 위성 서비스가 이루어지게 된다. 그러나 무궁화 1, 2, 3 및 5호위성은 우리 기업이 일부분 제작에 참여하긴 하였으나 외국 업체에서 거의 대부분을 제작한 수입 위성이었다. 더욱이 위성체의 핵심적인 역할을 하는 중계기 및 RF 부품들은 전량 외국에서 설계/제작된 것을 사용하였기 때문에 진정한 우리나라 위성으로 불리우기는 어려운 상황이다. 위성탑재체의 제조 산업은 오늘날 첨단 산업의 집합체라 할 수 있다. 즉, 탑재체를 설계하고 제작하는 데는 기초 과학이 뒷받침되어 초정밀 기계 공학, 첨단 전자 기술, 극한 환경 기술 및 신소재 공학 등의 여러 분야의 발전이 필수적이다. 이렇듯 위성탑재체 및 RF 부품 개발은 위성 산업뿐만 아니라 첨단산업 전반에 파급효과가 큰 고 부가가치 산업이다. 이러한 상황을 인식하여 위성탑재체 및 RF 부품 개발을 포함한 통신·방송위성의 완전 국산화를 만들어 보자는 의견이 학계, 연구소를 중심으로 일어나게 되었고 정부도 1999년 12월에 통신·방송위성 국내개발계획에 대한 정보통신부 추진계획을 확정하였다.

● 용 어 해 설 ●

위성탑재체(Payload): 탑재체는 중계기 서브시스템과 안테나 서브시스템으로 구성된다. 중계기 서브시스템은 위성 안테나에서 수신한 약한 신호를 증폭하고 주파수 변환한 후 위성 안테나를 통해 지구국으로 재송출하는 기능을 수행한다.

위성중계기용 부품은 10여 년 이상 가혹한 우주 환경에서도 정상 동작하여야 하므로 신뢰도가 매우 중요하다. 모든 부품들은 진공 열순환, 우주방사선 및 전기/기계적 충격과 같은 혹독한 우주 환경시험을 거쳐야만 하며 더욱이 그 부품들은 위성 발사 시 발생하는 충격과 진동에도 견디어 낼 수 있어야 한다. 또한 회로적으로는 이미 검증이 완료된 기술을 사용하는 데 반해 구현 방법에 있어 잠재적인 불량을 줄일 수 있어야 한다. 이러한 위성 부품의 특수성 때문에 엄격하고 체계적인 관리 및 통일된 절차에 의한 설계, 제조, 시험, 인증 등이 이루어져야 한다[1].

현재 국내 기술수준은 위성중계기 및 핵심 RF 부품에 대한 비행 모델(FM)을 자체 개발한 단계에는 이르지 못하고 있다. 위성 중계기 기술의 국내 선두주자인 한국전자통신연구원은 1990년부터 위성 중계기 시스템의 기본적인 설계, 조립, 종합화, 시험기술을 바탕으로 통신위성탑재체용 초고주파(RF) 부품을 개발하여 왔으며, 2000년 5월~2003년 4월에는 Ku 대역(12/14GHz) 및 Ka 대역(20/30GHz) 기술인증모델(EQM) RF 부품 및 중계기를 성공적으로 개발하였다. 이러한 축적된 기술을 바탕으로 2003년 5월부터는 2008년에 발사될 통신해양기상위성에 탑재될 Ka 대역 비행 모델 RF 부품 및 탑재체 시스템을 개발하고 있다. 현재 우주인증 모델 개발(QM)이 완료단계에 있으며 비행 모델(FM) 개발이 진행 중이다.

본 고의 II장에서는 위성 시스템의 핵심적인 역할을 하는 위성탑재체의 개발 동향과 현재 개발중인 통신해양기상위성 통신탑재체를 소개하고 그 구성과 동작에 대해 설명하고자 한다. III장에서는 개발 완료 단계인 우주인증모델의 위성탑재체용 RF 부품들을 중심으로, 저잡음 증폭기(LNA), 주파수 변환기, 국부 발진기(LO), 마이크로웨이브 스위치 매트릭스(MSM), 채널 증폭기(Champ), 입력필터 어셈블리(IFA), 채널필터(CHF), 출력 멀티플렉서(OMUX), 고출력 증폭기(HPA) 등에 대한 기술 동향과 그 특성을 살펴보기로 한다.

II. 위성탑재체 기술

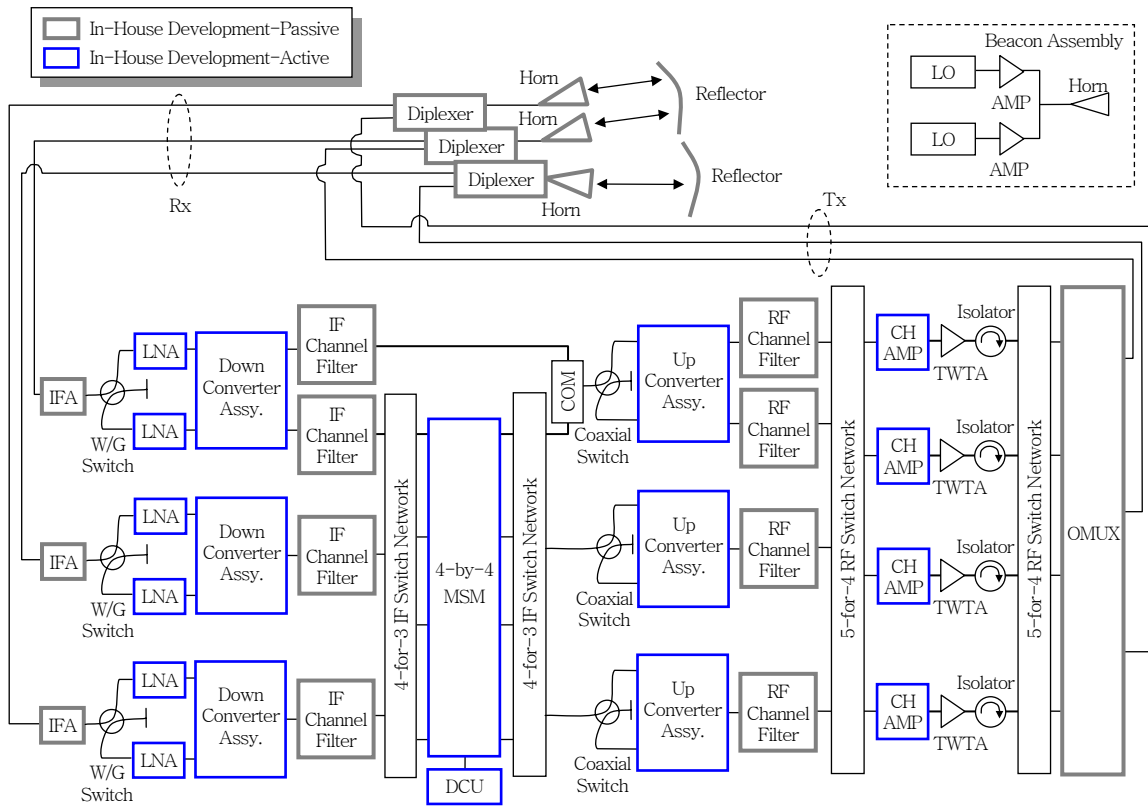
미국, 유럽 및 일본을 비롯한 선진국들은 위성 개발의 중요성 및 타 산업에 미치는 영향을 인식하여 오래 전부터 중계기 시스템을 활발히 개발하고 있다. 최근의 위성 통신 시스템은 현재 사용하고 있는 주파수 대역의 포화과 광대역 멀티미디어 서비스 제공 등을 위해 보다 높은 주파수 대역에서 동작하도록 설계되고 있으며, 이러한 경향으로 인해 준 밀리미터파 대역(Ka 대역) 위성탑재체에 대한 개발이 진행 중이다. 그리고 1980년대 이전의 단순중계(repeater) 형태의 중계기에서, 폭발적으로 증가하는 위성 수에 따라 위성 궤도가 부족하고 주파수 자원이 고갈되고 있는 상황에서 통신 위성의 효율성과 성능을 향상시킬 수 있는 위성탑재 신호처리(OBP) 기술이 대안으로 등장하여 미국, 유럽, 일본을 중심으로 연구 중이며, 현재 이탈리아의 ITALSAT, NASA의 ACTS, 일본의 COMETS, ETS-VI 등에 탑재되어 운용 중이며 위성의 효율성을 더욱 더 크게 하기 위해 통신기능을 포함한 항법 보정 기능, 기상관측 기능 등 다양한 기능을 하는 복합위성 개발이 활발히 진행되고 있다. EU의 갈릴레오(GALILEO) 위성 프로그램의 일환인 예그노스(EGNOS) 프로그램에 의해 개발된 ESA ARTEMIS 위성의 경우, Ku 대역의 통신 기능과 L 대역의 항법 보정 기능을 동시에 가진 복합 위성으로서의 기능을 하고 있다. 또한 인도의 항법 보정 프로그램인 가간(GAGAN) 프로그램에 사용될 GSAT-4는 통신 기능을 담당하는 다중 빔 Ka 대역 재 생산 탑재체(multi-beam Ka-band regenerative payload)와 단순중계 탑재체(bent-pipe payload)와 항법 보정 기능을 하는 C/L 대역 탑재체를 동시에 가진 복합위성이다. 일본의 MTSAT의 경우, Ka, Ku 대역의 상향링크와 L 대역의 하향 링크를 가진 탑재체로, 항법과 기상 관측 등을 수행할 복합 위성으로 개발되었다.

한국전자통신연구원에서 현재 개발 중인 통신해양기상위성용 통신위성탑재체는 단순중계에서 OBP의 중간 단계인, 스위칭 기능이 탑재된 위성탑재 스

위칭(OBS) Ka 대역 중계기이다. 이러한 형태의 탑재체는 단순중계 형태의 탑재체에 비해 위성중계기 내에서 안테나 빔 또는 채널 간의 스위칭이 가능하게 하여 통신효율성과 성능을 향상시키고 이와 동시에 위성용량을 증대시킬 수 있다. (그림 1)은 통신해양기상위성용 통신위성탑재체의 블록도를 보이고 있다. 탑재체 시스템 구성은 3개의 입/출력단 및 bent-pipe형 1채널, 위성탑재 스위칭형 3채널로 총 4개의 active 채널로 이루어진 중계기 서브시스템과 3개의 피드 어셈블리와 2개의 이중반사판(1개의 피드와 1개의 반사판, 2개의 피드와 1개의 반사판으로 각각 구성)으로 이루어진 안테나 서브시스템으로 구성된다. 탑재체 시스템의 모든 채널은 30GHz 대역의 상향링크 수신 신호를 S 대역(3.4GHz 대역)의 IF 신호로 주파수 변환한 뒤 위성스위칭 기능을 수행한 후 20GHz 대역의 하향링크 신호로 변환하여 송신한다. Ka 대역 중계기서브시스템은 능동형 on-board 스위칭 중계기 구조이다. 중계기는 수신 안테나로부터 30GHz 대역의 상향 링크 신호를 받는다. 입력필터(IFA)는 수신 대역폭인 400MHz의 신호를 받아들이며 대역의 신호를 제거한다. 입력필터를 통과한 신호는 지령 수신 가능한 스위치를 통해 저잡음증폭기(LNA)에 입사된다. 저잡음증폭기는 위성탑재체의 G/T 성능을 보장하기 위한 저잡음 증폭 후 하향 주파수변환기(DNC)에 의해 IF 주파수 대역인 3GHz 대역으로 하향 변환된다. 이때, 하향 주파수변환기는 스위칭을 위한 IF 대역으로의 주파수 변환을 하며, 고 안정 신호를 발생시키는 국부 발진기(LO)를 포함하고 있다. 하향 주파수변환기를 통과한 신호는 4개의 IF 대역 채널 필터(ICF)로 입사된다. IF 채널 필터는 100MHz의 채널 대역폭으로 각각의 채널 신호를 분리하며, IF 스위치 네트워크

● 용 어 해 설 ●

위성탑재 스위칭(OBS, On-Board Switching) 시스템: 멀티 빔 위성 시스템의 빔간 상호연결을 구현하기 위한 하나의 방법으로, 위성체 내에 프로그램이 가능한 스위칭 매트릭스(switching matrix)를 탑재한 시스템이다.



(그림 1) 통신해양기상위성 통신탑재체의 구성도

(ISN)를 통해 상향 주파수변환기(UPC)로 연결된다. 상향 주파수변환기는 3GHz 대역의 IF 주파수를 20GHz 대역으로의 위성 하향링크 주파수로 변환을 수행한다. 20GHz 대역으로 변환된 신호는 RF 채널 필터(RCFr)로 입사되어, 100MHz의 채널 대역폭으로 각각의 RF 채널 신호로 분리된다. RF 채널 필터에 의해 분리된 각각의 신호들은 4 대 3 예비기 구조의 고전력 증폭부로 전달된다. 중계기의 고전력 증폭부는 채널 증폭기(Champ)와 진행파관 증폭기(TWTA)로 구성된다. 채널 증폭기는 TWTA가 포화 상태에서 동작할 수 있도록 충분한 이득을 제공하는 역할을 한다. 채널 증폭기는 자동적으로 상향 링크 감쇄를 보상할 수 있도록 적응형 이득을 갖는 ALC 기능을 포함한다. ALC 기능은 지상 명령계에 의해 모드 변환이 가능하며 이 경우 채널 증폭기는 이득 범위 32dB인 고정 이득 모드(FGM)로 동작하게 된다. 진행파관 증폭기는 위성 수명 종료 시의 포

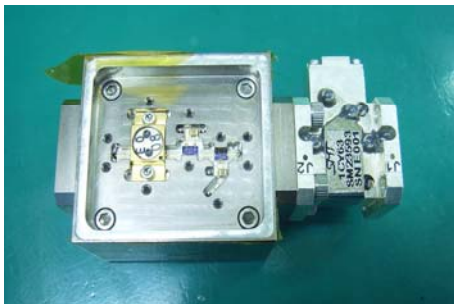
화 출력 전력이 100와트 이상이며, 중계기의 DC 전력소모를 최소화하기 위해 고 효율을 갖는다. 증폭부를 통과한 신호는 출력 멀티플렉서(OMUX)로 입사된다. 출력 멀티플렉서는 출력 채널 필터, 고조파 제거 필터, 출력 결합기 등으로 구성된다. 출력 채널 필터는 채널 대역을 다시 한번 정의하며 대역의 신호를 제거함으로써 불요신호를 억제한다. 고조파 제거 필터는 고조파들과 상호 변조곱 성분들을 제거한다. 출력 멀티플렉서의 출력단은 송신 안테나로 연결된다. Ka 대역 중계기는 동작 모드 지정과 중계기의 상태에 대한 정보 수집을 위한 모든 원격명령(command)과 원격측정(telemetry) 인터페이스를 제공한다. 원격명령은 TWTA on/off, 채널 이득 조정 설정 등의 기능을 포함한다. 원격 측정은 TWTA 전류 정보, on/off 상태, 중계기 패널 온도, 수신기 on/off 상태, 스위치 위치정보 등에 대한 기능을 포함한다.

Ⅲ. 위성탑재용 RF 부품 기술

1990년 이전에는 하이브리드 MIC 기술을 이용한 RF 부품이 주류로 개발되었으나, 최근에는 위성의 사용 주파수가 올라가고 모듈의 소형 경량화를 요구하는 추세에 맞춰 고성능의 MMIC 기술을 이용한 모듈이 위성 중계기용으로 개발되어 사용되고 있다. MMIC 기술을 이용하여 모듈을 개발할 경우 높아진 MMIC 공정의 신뢰도에 따라서 모듈의 신뢰도 또한 높아지고 있다. 현재 위성중계기용 RF 모듈에 사용되는 MMIC를 생산하고 있는 업체로는 미국의 NGST사와 영국의 UMS사가 있으며, 그밖에 미국의 MA/COM사 및 TRIQUINT사 등이 경험을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 현재 국내에서 개발중인 우주인증 모델 RF 부품의 경우, 전기적인 성능 및 기계적인 성능은 타 위성 부품과 같거나 우수한 특성을 지녔다.

1. 저잡음 증폭기

저잡음 증폭기(LNA)는 위성중계기의 구성상 가장 앞에 위치하는 증폭기로서 시스템 G/T에 가장 큰 영향을 주는 부품이다. 저잡음 증폭기의 잡음지수는 중계기의 잡음 특성에 많은 영향을 미치므로 우수한 저잡음, 선형성 그리고 온도에 따른 안정화 특성이 요구된다. Ka 대역 이하에서는 하이브리드 MIC 기술로 LNA를 개발하는 경우가 있으나[2], 최근에는 LNA 모듈도 MMIC 기술을 이용하여 소형 경량화하면서 고성능을 실현하고 있다.



(그림 2) 우주인증모델 저잡음 증폭기

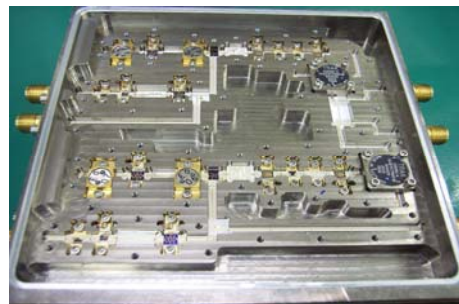
위성중계기용 부품에 있어 소형 경량화는 위성중계기 발사 비용을 절감할 수 있는 최고의 수단이기 때문에 최근에는 LTCC 기술을 이용하여 중계기용 LNA를 개발한 사례도 발표되었다.

(그림 2)의 저잡음 증폭기는 30GHz 대역에서 우수한 저잡음 특성을 가지는 MMIC LNA 2층을 이용하여 구성되었으며, 부품 배치의 유연성을 제공하고 자 소형 경량으로 개발되었다. 30GHz 대역에서 33 dB 이득에 2dB(상온) 잡음지수 성능과 85g의 무게 특성을 보이고 있다.

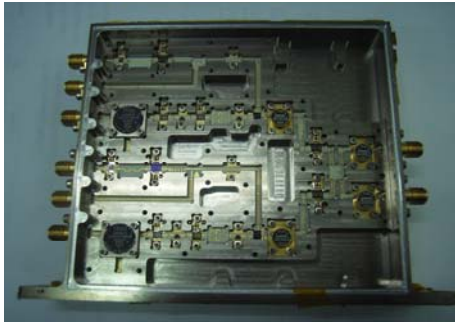
2. 주파수 변환기

주파수 변환기(frequency converter) 개발시 고려하여야 할 주요 성능으로는 잡음지수, 이득, 스퓨리어스 출력, 진폭 선형성, 군 지연, 위상 선형성, 그리고 입출력 반사손실 특성 등이 있다. 그리고 주파수 체배 방식을 이용하여 밀리미터파 대역에서의 국부발진기 개발의 어려움을 극복하고자 하는 경우도 있으며, 하나의 예로써 이중화된 주파수하향 변환기를 구현하기 위하여 입력단에 MMIC 스위치를 사용하고 국부 발진 주파수 체배기 MMIC 등을 사용하여 동전 크기로 개발한 사례가 미국의 업체로부터 발표되었다[3].

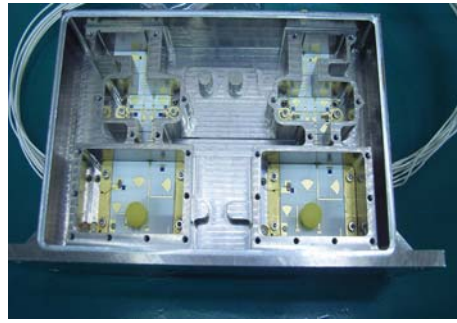
(그림 3)과 (그림 4)는 각각 주파수 하향 변환기와 주파수 상향 변환기의 RF 부분을 보이고 있다. 주파수 하향 변환기는 저잡음 증폭기의 출력 신호인 Ka 대역(30GHz)을 MSM 입력 신호인 S 대역(3.4 GHz)으로 주파수 변환을 시켜주는 역할을 하며 주



(그림 3) 우주인증모델 주파수 하향 변환기



(그림 4) 우주인증모델 주파수 상향 변환기



(그림 5) 우주인증모델 PLDRO 방식 국부 발진기

파수 상향 변환기는 MSM 출력 신호인 S 대역 주파수를 중계기의 하향링크 주파수인 K 대역(20GHz)으로 주파수 변환을 담당한다. 소형 경량화를 위해 능동 체인(active chain)과 예비 체인(redundancy chain)이 하나의 모듈로 설계가 되어 있으며, 주파수 하향 변환기의 경우, 22dB 이득에 42dBc의 IMD3 특성을 보이며 하향 변환기의 경우, 17dB 이득에 46dBc의 IMD3 특성을 보이고 있다.

3. 국부 발진기(LO)

위성 탑재용 국부 발진기(LO)는 고 신뢰성, 고 안정성 그리고 저 위상잡음 특성이 요구되며 이러한 특성을 갖는 위성 탑재용 발진기로는 PLL 타입은 잘 사용되지 않으며, 기본 주파수 발생기인 수정 발진기와 다수의 체배기를 이용하는 기본 주파수 체배 방식(multiplier chain oscillator)과 유전체 공진기 발진기와 위상 고정 루프를 이용한 방식(PLDRO) 등이 주로 사용되어 왔다[4]. PLDRO는 유전체 공진기를 이용한 전압 제어 발진기를 샘플링 위상비교기(SPD) 등을 이용하여 위상 고정하는 방식의 발진기로 우수한 위상잡음 특성과 주파수 안정도를 갖는다. 그러나 이 또한 20GHz 이상의 높은 발진 주파수를 요구하는 시스템에서는 샘플링 위상비교기 등의 성능 문제로 인해 직접 적용하기는 어렵다. 따라서 20GHz 이상의 발진 주파수를 갖는 위상 고정 발진기는 최종 출력 신호를 주파수 분주기를 통해 분주비만큼 떨어뜨린 후 그 신호를 위상비교기 신호와 비교하는 방식이나 20GHz 이하에서 PLDRO를 구

현한 후 주파수 체배기를 통과시켜 원하는 최종 주파수를 만들어 내는 방식 등을 이용한다[5].

(그림 5)의 국부 발진기는 상향 및 하향 주파수 변환기의 변환 주파수를 제공하기 위한 목적으로 사용된다. 하향 주파수 변환기용 국부 발진기는 8,843.33MHz와 8,800MHz를 생성하며 상향 주파수 발진기용 국부 발진기는 8,365MHz와 8,300MHz를 생성한다. 국부 발진기는 위상잡음특성을 확보하기 위하여 유전체 공동 공진기와 SPD 회로를 사용하여 설계하였으며, 온도 변화 범위 내에서 안정된 기준 주파수를 제공하기 위해 기준 주파수원으로는 OCXO를 사용한다. 상/하향 국부 발진기로부터 생성된 8GHz 대역 신호들은 상/하향 주파수 변환기 내에 있는 주파수 2체배기와 3체배기를 거치면서 최종 변환 주파수인 16GHz 대역과 26GHz 대역의 신호가 된다. (그림 5)의 국부 발진기의 RF 특성을 보면, 8.8GHz(하향 주파수 변환기용)와 8.3GHz(하향 주파수 변환기용) 대역에서 -97dBc/10kHz의 위상잡음과 14dBm 출력 전력과 0.05ppm(over life; 12년)의 주파수 안정도 특성을 보인다.

4. 마이크로웨이브 스위치 매트릭스

(그림 6)의 마이크로웨이브 스위치 매트릭스(MSM)는 세 지역으로부터의 수신된 신호를 임의의 지역으로 송신할 수 있도록 하는 경로를 제공한다. 스위치 매트릭스와 연결된 스위치 제어기(DCU)가 각 입력단과 출력단의 연결 상태를 제어하는 배열을 설정하고, 이에 따라서 위성으로 전송되는 캐리어들이 각

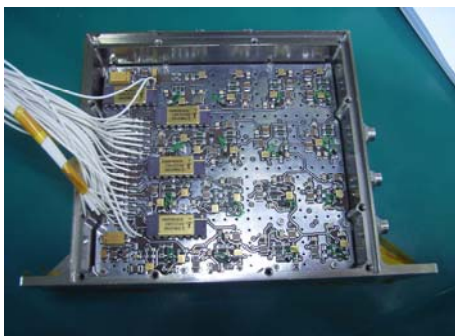
자 자신의 목적지로 연결되도록 하였다. 마이크로웨이브 스위치 매트릭스는 RF부와 스위치 구동부로 구성되며, 3.4GHz을 중심주파수로 100MHz의 동작 주파수를 가지는 4×4 매트릭스 구조로 되어 있다. RF부를 세부적으로 살펴보면 4단자 전력 분배기/결합기와 PIN 다이오드 스위치로 구성된다. 4단자 전력 분배기/결합기의 진폭 특성은 채널간의 간섭에 영향을 미치므로 광대역 특성을 갖도록 하였다. PIN 다이오드 스위치는 높은 격리도와 짧은 스위칭 시간이 요구되므로 스위치 구동부는 고속 스위칭이 가능하도록 설계하였다. 스위치 구동부는 전원 레귤레이션 회로와 제어신호분배회로 및 PIN 다이오드 스위치 구동 회로로 세분하였다. 스위치 제어기(DCU)는 마이크로웨이브 스위치 매트릭스의 스위치 동작을 제어하는 역할을 수행한다. DCU는 DCU와 위성체의 중계기 인터페이스 장치(RIU)간의 통신 채널로 DCU의 동작을 모니터링하고 제어하는데 활용되는 serial 통신 인터페이스, 마이크로웨이브 스위치 매트릭스를 on/off 하거나 on/off 상태를 모니터링하는 데 활용되는 discrete CMD/TLM 인터페이스, 그리고 마이크로웨이브 스위치 매트릭스 인터페이스로 되어 있으며, 신뢰도 확보를 위해 2:1 이중화 구성한다. MSM의 경로간의 격리도가 높아야 인접 채널간의 간섭이 줄어들며, 스위칭 속도는 빨라야 고속 데이터의 스위칭이 가능하게 되므로 이들 성능 개선을 위한 방향으로 연구 개발이 진행되고 있다. (그림 6)의 마이크로웨이브 스위치 매트릭스의 RF 특성을 보면 삽입손실은 15.7Db, 경로간의

격리도는 60dB 이상이며, 스위칭 속도는 30ns이다.

5. 채널 증폭기

채널 증폭기(Champ)는 위성 중계기 내에서 고출력 증폭기(TWTA)를 구동하며, 위성 중계기의 이득과 출력 레벨을 제어하는 역할을 한다. 따라서 우수한 이득 제어 특성과 높은 온도 안정성, 그리고 낮은 상호 혼변조 왜곡 특성 등이 요구된다. 현재 개발되었거나 개발중인 채널 증폭기들의 이득 조절 범위는 30dB 이상이고, 전력 레벨 조절 범위는 15dB 이상이며, Ka 대역과 같이 강우 감쇠가 심한 경우, 자동 레벨 조절 범위가 20dB 이상으로 늘어나고 있는 추세이다. 이러한 넓은 범위의 이득 및 자동 레벨 조절을 위해서 선형 특성을 갖는 다수의 이득 조절 감쇄기가 요구된다.

(그림 7)의 채널증폭기는 RF부와 제어부로 구성된다. RF부는 두 종류의 MMIC 증폭기와 한 종의 MMIC 감쇄기, 결합기, 검출기, 대역 통과 여파기 및 ThermoPad® 등으로 구성되며, MMIC 이외의 소자는 박막 필름을 이용하여 제작된다. 제어부는 지상 관제국으로부터 원격명령(telecommand)을 받아 채널증폭기가 특정한 이득이나 출력을 갖도록 하는 한편, 동작 모드, 이득 설정, 출력 설정, 검출 출력 등의 상태 감시 정보 신호(telemetry)를 관제국에 보낸다. 보다 정확한 온도 보상을 위하여 PTC 저항을 포함하는 온도 보상회로를 설계하였고, 이득 및 레벨의 정확도를 향상시키기 위하여 명령 비트에 감



(그림 6) 우주인증모델 마이크로파 스위치 매트릭스



(그림 7) 우주인증모델 채널 증폭기

쇄기 특성을 반영하여 설정하였다.

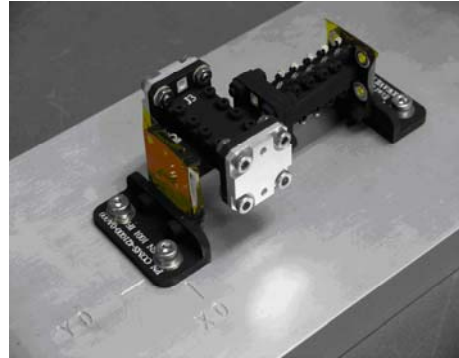
(그림 7)의 채널 증폭기의 RF 특성을 보면, 이득은 21~53dB의 범위에서 1dB 단위로 지상 명령에 의해서 조절이 가능하며, 20dB의 입력 레벨 변화에도 자동으로 출력이 일정하게 유지되는 한편 출력 또한 1dB 단위로 15dB 이상 조절 가능하다.

6. 입력필터 어셈블리

위성중계기는 미약한 입력 신호를 약 120dB 증폭을 시켜 지구국으로 재전송하기 때문에 수신기가 높은 전력을 갖는 송신 신호에 간섭을 받지 않기 위해서는 수신부와 송신부 사이에 매우 높은 격리도가 필요하다. 위성 부품들로 조립된 중계기의 성능 시험을 위해서 수신부 앞 단에 시험 결합기를 부착하여 일반적으로 수신 신호의 크기 및 중계기의 반사 신호 크기를 측정하는 데 사용된다. 수신기 앞 단에 사용되는 입력필터 어셈블리(IFA)는 이러한 기능을 수행하고자 일반적으로 대역통과 필터와 시험 결합기로 구성된다.

입력필터 어셈블리는 저잡음 증폭기 앞 단에 사용되기 때문에 중계기 잡음 지수 성능을 좌우하는 삽입 손실이 최소화되어야 한다. 또한 중계기 성능 시험을 위해 적절한 결합도 및 높은 방향성이 필요하다. 그리고 위성 탑재용 부품은 무게 및 부피가 발사 비용과 직결되어 있기 때문에 소형 및 경량이 가능한 구조가 사용되어야 한다[6]. 중계기 성능 시험을 위한 시험결합기는 삽입 손실을 줄이기 위해 주로 약 30dB 근처의 낮은 결합도가 사용된다. 측정의 정확도를 높이기 위해 입력되는 전력의 일부가 두 결합 포트 중 한 포트에서만 추출되고 다른 포트에서는 전송되지 않는 방향성 결합기가 이용된다. 도파관 형태의 십자형 방향성 결합기는 우수한 결합 평탄도와 높은 방향성에 대해 광대역 특성을 갖고 구조가 간단하여 위성중계기 부품으로 널리 사용되고 있다.

통신해양기상위성에 사용되는 (그림 8)의 입력필터 어셈블리는 안테나부와 수신부의 연결 부위에 위



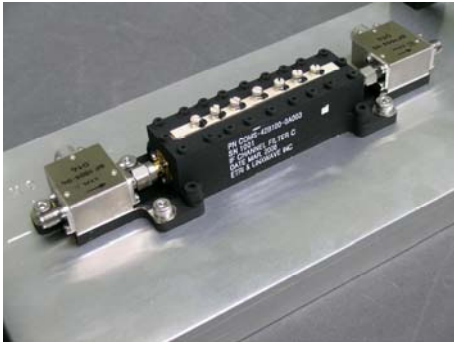
(그림 8) 우주인증모델 입력필터 어셈블리

치하며, 광대역 도파관 필터인 입력필터와 4단자 교차형 방향성 결합기인 테스트 결합기로 구성된다. 사진에서 필터와 시험 결합기가 실험을 용이하도록 붙어 있지만, 실제 사용될 때 시험 결합기는 버스의 밖에 위치하도록 설계하였다. 시험결합기가 성능상의 변동 없이 비용 절감을 위하여 예비 설계 실시 후 테스트 시험결합기의 끝 단을 동축 로드 대신 쇼트 처리하는 형상으로 하였다. 이로 인해 무게도 상당히 줄이는 효과가 있었다. (그림 8)의 입력필터 어셈블리의 RF 특성을 보면, 0.25dB의 삽입손실과 120 dBc의 출력 신호 차단 특성을 보이고 있다.

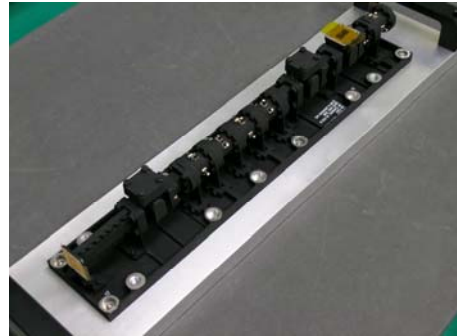
7. 채널 필터

위성을 이용한 통신시스템에서 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 여러 개의 주파수 대역으로 분리하는 채널화 기술이 필요하다. 주파수 자원을 최대로 사용하기 위해서는 각 채널로 할당된 대역 간에 간격(가드 대역, guard band)이 좁을수록 좋기 때문에 필터는 우수한 주파수 선택 특성이 요구된다.

위성용 필터의 핵심 개발 기술의 급격한 개발기술은 “협대역 이중 모드 도파관 필터”가 미국 COMSAT사의 Atia와 William에 의해 개발[7]된 이후에 이루어졌다. 현재 Ku 대역 이하 주파수 대역에서 위성 기술 선진국(미국, 캐나다, 독일, 프랑스 등)에서 개발하여 상용화를 이룬 유전체 공진기를 이용한 필터 구현 기술에 대해서는 국내 기술 확보에 노력을 기



(그림 9) 우주인증모델 IF 채널 필터



(그림 10) 우주인증모델 RF 채널 필터

울여야 한다. 특히 유전체를 이용한 이중모드 필터에 대해 미국의 Loral 회사에서 특허권을 소유하고 있기 때문에, 이 부분을 제외한 분야에서 지적 재산권 확보에 총력을 기울여야 한다[8].

통신해양기상위성에서는 스위치 블록을 이용하는 3GHz 주파수 대역인 IF 대역 채널 필터(channel filter)와 상향 변환된 20GHz 주파수 대역인 RF 대역 채널필터를 이용하여 채널화를 실시하고 있다. (그림 9)의 IF 대역 채널 필터는 하향 주파수 변환기와 스위치 매트릭스 사이에 위치하며 중계기 대역 내의 신호는 통과시키고 대역 외 신호는 제거하는 역할을 한다. 채널 필터의 성능이 다른 부품의 전기적인 성능에 영향을 주지 않도록 하기 위해 아이솔레이터를 필터의 양 끝에 위치시켰다.

채널 필터는 삽입 손실 및 군지연 변이가 적도록 4차 체비세프 전달 특성을 갖도록 하였으며, 커플링 아이리스를 갖는 combline 형태를 취해 크기를 줄이고, 원치 않는 하모닉 신호를 제거하고자 하였다. Combline의 공진기는 1/4 파장보다 짧고, 한쪽 끝은 접지시키고 다른 한쪽 끝은 커패시티브 로드되는 형태이다. 입출력 포트는 처음과 마지막 공진기에 SMA 커넥터를 직접 연결하는 tap line 형태를 사용하였다. 우주 환경 조건에서 전기적인 성능 저하 없이 견딜 수 있도록 기계적인 설계가 수행되었으며, 중계기 패널에 장착되기 위해 베이스플레이트를 사용하였다.

주파수 상향 변환기 뒤 단에 위치한 RF 대역 채널 필터는 좁은 가드 대역을 갖는 채널간의 간섭을

최소화하기 위해 우수한 대역 외 차단 특성을 요구한다. (그림 10)의 RF 대역 채널 필터는 협대역 채널 대역통과 필터, 외부 등화기, 저역 통과 필터, 그리고 아이솔레이터로 구성된다. 아이솔레이터는 입/출력단의 정합을 향상시키는 역할을 수행한다. 채널 필터의 특성은 IF 채널 필터의 경우, 0.23dB의 삽입 손실과, 2.08ns의 군 지연 특성을 보이며, RF 채널 필터의 경우, 3dB의 삽입 손실과 22ns의 군 지연 특성을 보이고 있다.

8. 출력 멀티플렉서

출력 멀티플렉서(OMUX)는 고출력 증폭기의 출력 신호를 원하는 대역으로 선택하는 데 사용된다. 이 때문에 고출력 신호의 처리에 대한 세심한 분석이 요구된다. 위성 탑재용 출력 멀티플렉서 또한 발사 비용 절감을 위해서 소형화 및 경량화를 위해 많은 기술 개발을 시도하고 있다. 이러한 기술 개발의 일환으로 유전체를 이용한 소형화 필터 또는 초전도체를 이용하여 소형 및 저 손실 필터를 개발하고 있다. 그러나 유전체 공진기를 사용하는 경우 최대 허용 전력이 낮아지고, 초전도체 출력 멀티플렉서는 구동시키기 위해서 필요한 냉각기 등으로 중량과 부피가 더 커지게 되는 단점이 있다. 그래서 아직까지는 위성 탑재용으로 상용화된 유전체 공진기 또는 초전도체를 이용한 출력 멀티플렉서가 발표되지 않고 있다.

(그림 11)의 출력 멀티플렉서는 고전력용 4개의



(그림 11) 우주인증모델 출력 멀티플렉서

저역 통과 필터, 4개의 채널 필터, 1개의 매니폴드, 그리고 3개의 중계기 실험용 테스트 결합기로 구성되어 있으며 2개의 독립된 채널(채널 2번과 4번)과 하나의 출력으로 묶여진 두 채널(채널 1번과 3번)로 이루어져 있다. 채널 당 최대 입력 전력은 100와트이며 이러한 고출력 처리를 위하여 저역 통과필터, 매니폴드, 그리고 테스트 결합기는 추가적인 튜닝나사가 사용되지 않는 구조로 설계되었다.

중계기 수신 주파수대역(30GHz 대역)과 송신 주파수대역(20GHz 대역) 사이를 격리시키고 고조파 신호를 제거하기 위해 저역 통과 필터가 사용되었다. 저역 통과 필터는 corrugated 도파관 형태로 설계되어 높은 고조파 신호 억압특성과 고 전력 신호 처리 능력을 동시에 만족한다. 테스트 결합기는 이중 도파관 결합기와 두 개의 SMA-female 동축 커넥터로 이루어졌으며 Moreno형으로 설계되었다. 테스트 포트로는 SMA 동축 커넥터가 사용되었다. 대역 내 삽입손실이 0.1dB 이하로 매우 작게 설계/측정되었다. 반사손실 또한 -30dB 이하로 설계/측정되었다. 따라서 결합기로 인한 출력 멀티플렉서의 전체 성능 저하는 없을 것이다.

채널 필터는 4차 타원 응답형 인라인 구조로 설계되었다. 무게와 부피를 경감하기 위하여 각 공진기는 TE113 모드의 수직 및 수평 편파를 사용하는 이중모드 필터로 구성되었다. 작은 삽입손실, 무게, 그리고 크기를 갖도록 매니폴드를 사용하였고, 한쪽 면이 단락된 E-plane T-접합 구조가 이용되었다. 출력 멀티플렉서의 입력단과 출력단은 WR-51로

구성되어 있다. 기계적 안정성을 고려하여 필터의 각 공진기에는 튜닝나사용 boss 처리를 하였으며, 접합부위는 pressure lip 처리를 하여 공진기간 접합이 잘 되도록 하였다. 고전력 신호를 처리하여야 하는 출력 멀티플렉서의 특성때문에 멀티팩션에 대한 해석도 실행하여 그 결과를 설계에 적용하였다. 부품을 지탱하는 baseplate와 브래킷의 경우 고전력 신호에 의하여 발생하는 열이 잘 분산되도록 설계 및 제작을 하였다. 온도변화에 의한 부품특성의 변화를 최소화하기 위하여 채널필터의 공진기와 슬롯은 모두 INVAR로 제작하였다.

각 채널 필터의 성능을 최적화하는 입력 멀티플렉서의 설계와는 달리 출력 멀티플렉서는 매니폴드와 채널 필터 모두 동시에 최적화가 이루어져야 한다. 매니폴드 멀티플렉서는 매우 복잡한 구조로, 예를 들어 6차 타원함수 필터로 구성된 10개 채널 멀티플렉서는 최소 120 주파수 포인트에서 약 170개의 등가회로 파라미터를 최적화해야 한다. 최적화 설계 시 동작 주파수 대역에서 사용하는 전력 상에서도 문제없도록 설계되어야 한다. 정확한 설계를 하기 위하여 유한요소법(finite element method), 모드 매칭 방법(mode matching method) 등 전자계 해석 방법을 이용하여 최적화를 수행하는데, 채널 수가 증가할수록 최적화에 어려움이 많고, 완벽한 설계가 불가능하기 때문에 등가회로를 혼용하여 사용하고 있다[9]. (그림 11)의 Ka 대역 출력 멀티플렉서에 대한 RF 특성은 0.9dB의 삽입손실과 24 dBc의 인접대역 억압도 특성을 보이고 있다[10].

IV. 결론

본 고에서는 위성탑재체의 개발 동향과 위성 중계기용 핵심 RF 부품들에 대한 특성과 기술동향을 살펴보았다. 위성탑재체 측면에서는 광대역 멀티미디어 서비스 제공 등을 위해 보다 높은 준 밀리미터 파 대역(Ka 대역) 위성통신 위성의 효율성과 성능을 향상시킬 수 있는 신호처리 탑재(OBP) 위성과

기능을 포함한 다양한 기능을 가진 복합위성 개발이 활발히 진행되고 있는 추세이다. 국내에서는 현재, OBP 위성으로의 전 단계인 OBS 위성 개발이 2008년 발사를 목표로 진행되고 있으며 RF 부품에서도 우주인증 모델(QM) 개발이 완료되었으며 비행 모델(FM) 개발이 진행 중이다. 위성탑재체 산업은 초정밀 기계 공학, 첨단 전자 기술, 극한 환경 기술 및 신소재 공학 등의 여러 분야의 발전이 필수적이다. 이렇듯 위성중계기용 RF 부품 개발은 위성 산업뿐만 아니라 첨단산업 전반에 파급효과가 큰 고부가가치 산업이므로 세계 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해 보다 적극적인 정부, 학계 및 기업의 참여가 요구된다.

약어 정리

ALC	Automatic Level Control
CHAMP	Channel Amplifier
DCU	Distributed Control Unit
DNC	Down Converter
EQM	Engineering Qualification Model
FGM	Fixed Gain Mode
FM	Flight Model
ICF	IF Channel Filter
IFA	Input Filter Assembly
ISN	IF Switch Network
LNA	Low Noise Amplifier
LO	Local Oscillator
MSM	Microwave-Switch-Matrix
OBP	On-Board Processing
OBS	On-Board Switching
OCCO	Oven Controlled Crystal Oscillator
OMUX	Output Multiplexer
PLDRO	Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator
PTC	Positive Temperature Coefficient
QM	Qualification Model
RCF	RF Channel Filter
RF	Radio Frequency
SPD	Sampling Phase Detector
TWTA	Traveling Wave Tube Amplifier
UPC	Up Converter

참고 문헌

- [1] 최영수, 오경봉, "국내 초고주파 통신위성용 페이로드 부품 개발 현황," 전자공학회지, 제 25권 제 1호, 1998년 1월.
- [2] James J. Sowers, Michael Willis, Thanh Tieu, William Findley, and Kevin Hubbard, "A Spacequalified, Hermetically-sealed, Ka-band LNA with 2.0 dB Noise Figure," *2001 IEEE GaAs IC Symp. 23rd Annual Technical Digest*, Oct. 2001, pp.156-161.
- [3] Fred C. Tramm, "Compact Frequency Converters for a Ka-band Telecommunications Satellite Payload," *ALAA 20th Conf. on Satellite Systems*, May 2002, pp.12-16.
- [4] Ben Hitch and Tom Holden, "Phase Locked DRO/CRD for Space Use," *Proc. of the 1997 IEEE Int'l Frequency Control Symp.*, 1997, pp.1015-1023.
- [5] J. Perez, P. Dorta, and F. Sierra, "A Comparison of the Performance of Three Different Phase Locked Oscillators Fabricated at 21GHz," *1992 IEEE MTT-S Digest*, 1992, pp.305-308.
- [6] Y. Lim, M.S. Uhm, and J. Park, "The Development of a Ka Band Input Filter Assembly for a Satellite Transponder," *Key Engineering Materials*, Jan. 2005, pp.789-794.
- [7] A. Atia and A. William, "New Types of Waveguide Bandpass Filters for Satellite Transponder," *COMSAT Technical Review*, Vol.1, No.1, 1971, pp.21-43.
- [8] J. Fiedziuszko, "General Response Dual-mode, Dielectric Resonator Loaded Cavity Filter," US patent, 6297715, Oct. 2001.
- [9] M.S. Uhm, J. Lee, J.H. Park, and J.P. Kim, "An Efficient Optimization Design of a Manifold Multiplexer Using an Accurate Equivalent Circuit Model of Coupling Irises of Channel Filters," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.*, Long Beach, CA, WEPJ-4, 2005.
- [10] M.S. Uhm, J. Lee, S.H. Yun, Y.S. Noh, and J.H. Park, "A Study on the Engineering Verification of RF Passive Equipment for Communication, Ocean and Meteorological Satellite(COMS)," *Jc-SAT 2004*, Vol.1, 2004.